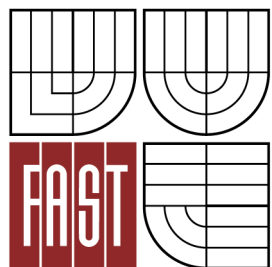




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF GEODESY

## PODKLADY PRO TVORBU MAPY PRO ORIENTAČNÍ BĚH DATA FOR THE CREATION ORIENTEERING MAPS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. JAN PANCHÁRTEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2013



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3646 Geodézie a kartografie
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3646T003 Geodézie a kartografie
<b>Pracoviště</b>	Ústav geodézie

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. JAN PANCHÁRTEK
<b>Název</b>	Podklady pro tvorbu mapy pro orientační běh
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	30. 11. 2012
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

.....  
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

### **Podklady a literatura**

Směrnice pro tvorbu a evidenci map ČSOB,

Český svaz orientačních sportů, 2006

S. Karochová: využití dat leteckého laserového skenování při tvorbě map pro orientační běh, Bakalářská práce, ČVUT v Praze 2012.

### **Zásady pro vypracování**

V zadaných oblastech u Hradce Králové a u Bezděkova vykonajte posouzení podkladů pro tvorbu mapy pro orientační běh. Zaměřte se zejména na výšková data. Porovnejte vrstevnice vygenerovaných ze stejných dat pomocí různého software. Vytvořte v části zadaných lokalit mapy pro orientační běh.

### **Předepsané přílohy**

.....  
doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

**Abstrakt**

Tato práce pojednává o možnostech využití leteckého laserového skenování pro tvorbu map pro orientační běh. Byla využita výškopisná data DMR 4G a DMR 5G, která poskytuje ČÚZK. V dané lokalitě bylo provedeno kontrolní měření a ověřena přesnost těchto dat. V této práci je popsán princip sběru dat a jeho následného zpracování. Výsledkem práce bylo vytvoření ukázky mapy pro orientační běh ve dvou lokalitách.

**Klíčová slova**

mapa pro orientační běh, letecké laserové skenování, digitální model reliéfu, digitální model povrchu, výškopisná data DMR 4G a DMR 5G

**Abstract**

This thesis is about using airborne laser scanning data for making maps for Orienteering. In this thesis were used altimetry data DMR 4G and DMR 5G. These data are provided by ČÚZK. The control measuring was made in choosen area to verify the accuracy. In this thesis is described procedure of data collection and their treatment. The results of this thesis are two illustrations of the orienteering maps.

**Keywords**

orienteering map, airborne laser scanning, digital terrain model, digital surface model, elevation data DMR 4G and DMR 5G



### **Bibliografická citace VŠKP**

PANCHÁRTEK, Jan. *Podklady pro tvorbu mapy pro orientační běh*. Brno, 2013. 61 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22.5.2013

.....  
podpis autora  
Jan Panchártek

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Vlastimilu Hanzlovi, CSc. za rady a připomínky při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě T-mapy spol. s r.o., která mi umožnila přístup k programům, ve kterých jsem zpracovával data. Poděkování také patří Českému úřadu zeměměřičskému a katastrálnímu za zapůjčení dat DMR 5G a DMR 4G a firmě Geodis spol. s r.o. za poskytnutá ortofota.

V Brně, dne 22.5.2013

## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>2. MAPY PRO OB.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Historie map pro orientační běh .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2. Mapové klíče.....</b>	<b>11</b>
2.2.1. ISOM 2000.....	11
2.2.2. Terénní objekty .....	12
2.2.3. Mapy pro disciplínu sprint.....	14
<b>3. VÝŠKOPIS NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Digitální model terénu.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. Historická výškopisná data na území České republiky .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3. Letecké laserové skenování.....</b>	<b>18</b>
3.3.1. Princip leteckého laserového skenování .....	18
3.3.2. Jednotka IMU .....	19
3.3.3. Určování polohy GPS .....	19
<b>3.4. Letecké laserové skenování na území České republiky .....</b>	<b>19</b>
3.4.1. Přístrojové vybavení.....	20
3.4.2. Parametry přístroje Riegel LMS – Q680.....	21
3.4.3. Sběr dat.....	23
3.4.4. Formát dat .....	24
3.4.5. Digitální model reliéfu 4. generace.....	25
3.4.6. Digitální model reliéfu 5. generace.....	27
3.4.7. Digitální model povrchu.....	30
<b>4. OVĚŘENÍ PŘESNOSTI VE VYBRANÉ LOKALITĚ.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1. Lokalita .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2. Měření .....</b>	<b>32</b>
4.2.1. Přístrojové vybavení.....	33
4.2.2. Sít' stanovisek .....	33
4.2.3. Podrobné body .....	35
<b>4.3. Výsledek.....</b>	<b>35</b>
<b>5. PODKLADY PRO TVORBU MAPY .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1. Druhy podkladů .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2. Zpracování LLS .....</b>	<b>37</b>

5.2.1.	Zpracování modelu terénu v programu Ocad .....	37
5.2.2.	Zpracování modelu terénu v programu Atlas.....	41
5.2.3.	Zpracování modelu terénu v programu ArcMap .....	42
5.3.	Porovnání dat .....	43
5.3.1.	Porovnání modelů s naměřenými body .....	43
5.3.2.	Vizuální porovnání .....	45
5.3.3.	Porovnání modelů terénu z různých programů .....	46
5.4.	Vyhodnocení ortofota .....	47
6.	ZHOTOVENÍ MAPY PRO ORIENTAČNÍ BĚH .....	49
6.1.	Vytvoření podkladů pro práci v terénu .....	49
6.1.1.	Oblast Hradec Králové.....	50
6.1.2.	Oblast Bezděkov.....	51
6.2.	Mapování v terénu .....	51
6.3.	Kreslení mapy pro OB.....	52
7.	VÝSLEDNÁ MAPA .....	54
8.	ZÁVĚR .....	55
	POUŽITÉ ZKRATKY.....	56
	ZDROJE.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....	59
	SEZNAM TABULEK .....	60
	ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY .....	61

## 1. ÚVOD

Orientační běh je outdoorový sport, který se v poslední době velmi rozšiřuje. Specifikou orientačního běhu je používání mapy, podle které se závodník orientuje v terénu. V této mapě má zakreslenou trať, kterou musí co nejrychleji oběhnout. Je jen na závodníkovi, kudy poběží. Záleží jen na jeho fyzických a mapových schopnostech.

Mapy pro orientační běh jsou speciální mapy, které obsahují objekty, podle kterých se lze orientovat v lese. Tyto mapy vytvářejí lidé, kteří mají s orientačním během a tvorbou map dlouholeté zkušenosti. Tvorba map je časově náročná a pro pořadatele závodů i finančně nákladná. Každý mapař při mapování používá celou řadu podkladů. Čím přesnější je mapový podklad, tím přesnější může být výsledná mapa. Při nekvalitních podkladech závisí jen na mapaři, jak dobře zvládne daný prostor zmapovat. Velkým pomocníkem při tvorbě map byl příchod ortofota a jeho využívání k mapování. To velmi zlepšilo polohovou přesnost map.

Nyní se začíná využívat letecké laserové skenování. Společný projekt ČÚZK, Ministerstva obrany a Ministerstva zemědělství vytváří na celém území České republiky digitální model reliéfu, který je veřejně dostupný. To umožňuje získat kvalitní výškové podklady a nejen ty. Z modelů terénu vygenerovaných z dat leteckého laserového skenování lze vyčíst i průběh cest a jiné objekty, které jsou v terénu polohově přesně určeny. Při použití modelu povrchu lze zjistit polohu budov, kraje lesa a výšku porostu. To jsou všechno věci, které mapař ocení.

V této práci se zabývám využitím digitálních modelů terénu 4. a 5. generace (DMR 4G a DMR 5G) ke tvorbě map pro orientační běh. Pro účely ověření byla kontrolně zaměřena oblast, ve které porovnávám výšky těchto modelů na kontrolních bodech. Modely terénu jsou zpracovány v různých programech a výstupy z těchto programů jsou mezi sebou taktéž porovnány.

## **2. MAPY PRO OB**

### **2.1. Historie map pro orientační běh**

Orientační běh je vytrvalostní sport, jehož principem je oběhnout kontrolní stanoviště v předepsaném pořadí v co nejkratším čase. Závodník se v terénu orientuje podle mapy a buzoly. Tyto mapy jsou speciálně připravené pro tento účel. Aby se mohl závodník rozhodnout kudy poběží, jsou v mapě zakresleny prostory podle typu průběžnosti a další speciální značky.

Orientační běh vznikl v Norsku na konci 19. století. Větší rozšíření tohoto sportu proběhlo ve Skandinávii v meziválečném období. Po Druhé světové válce se orientační sport rozšířil do celé Evropy. V současnosti má IOF (International Orienteering Federation, mezinárodní organizace) 74 členů, registrovaných národních svazů, na všech kontinentech. [13] Z počátku se běhalo na veřejně dostupných mapách. Za Druhé světové války byly všechny mapy v Norsku zakázané, a tak si orientační běžci začali kreslit vlastní mapy pro své potřeby. V Československé republice se tento sport uchytil až v 50-letech 20. století.

První závody v Československu se běhaly na mapách v měřítku 1:75 000, 1:50 000 nebo 1:25 000. Nejčastěji se jednalo o vojenské mapy, které byly utajovány, a tak se musely po závodech vracet. Detaily v těchto mapách neodpovídaly potřebě orientačních běžců. Proto od roku 1966 začaly vznikat speciální mapy vydávané oddíly orientačního běhu. V této době se používaly i přetištěné vojenské mapy, které neobsahovaly popisy a mohly zůstat závodníkům ve vlastnictví. V roce 1969 vydala IOF první mapový klíč, který definoval použití značek a barev při tvorbě map. Do té doby byly vytvářeny mapy bez jednotného řádu. V tomto mapovém klíči byl například les znázorněn zelenou barvou a průběžnost se znázorňovala černými tečkami. Až časem se přešlo na označení čistého lesa bílou barvou a hustší části lesa byly odstupňovány zelenou barvou. To zůstalo do dneška. Postupný vývoj map je možné vidět na obrázku č. 2.1. [14]

Historicky se vyvinula různá odvětví orientačního běhu. Dnes existují 4 hlavní odvětví: klasický orientační běh, dále pak orientační závody na horských kolech označené MTBO (Mountain Bike Orienteering), orientační závody na lyžích LOB (Lyžařský Orientační Běh) a Trail-O, pro hendikepované sportovce, kteří si chtějí také zkusit orientační běh.



**Obr. 2.1 Ukázka historických map** (1897 – Norsko, 1962 – Norsko, 1991 – ČSR) [14]

## 2.2. Mapové klíče

Historickým vývojem se postupně z map v měřítku 1:50 000 přešlo na mapy 1:15 000 nebo 1:10 000. Pro tato měřítka byly mezinárodní orientační federací vytvořeny mapové klíče. V současné době se používá mapový klíč ISOM 2000 (International Specification for Orienteering Maps). Tento klíč se používá pro disciplíny krátká trať, klasická trať, dlouhá trať a štafety. To znamená pro disciplíny, které se běhají hlavně v lese. Pro disciplínu sprint byl odvozen speciální mapový klíč ISSOM 2007 (International Specification for Sprint Orienteering Maps).

### 2.2.1. ISOM 2000

ISOM 2000 je mezinárodní normou pro tvorbu map pro orientační běh všech odvětví. Tato norma je rozdělena do několika kapitol. V první kapitole je definována mapa pro orientační běh. Jsou zde popsány požadavky na přesnost, obsah, generalizaci a čitelnost. Dále se norma dělí podle disciplín, pro které jsou mapy určené. V této práci se budu zabývat pouze mapami pro „pěší“ orientační běh.

V této části jsou definovaná měřítka, interval vrstevnic a barvy. Základní měřítko map je stanovené 1:15 000. Pro zvláštní případy je možné toto měřítko zvětšit na 1:10 000. Toto měřítko se může používat pro závody na krátké trati, závody štafet a pro veteránské kategorie, pro které je někdy obtížné číst mapu v měřítku 1:15 000. Barvy a symboly jsou přesně definované, aby bylo dodrženo pořadí překrytí jednotlivých symbolů.

Následují mapové značky (zobrazené na obr. č. 2.2), které jsou rozděleny do několika skupin podle typu objektu, které symbolizují. [4]



### **2.2.2. Terénní objekty**

Terén je na orientačních mapách reprezentován vrstevnicemi. Vrstevnice jsou stejně jako v ostatních mapách znázorněny hnědou barvou. Nejčastěji je interval vrstevnic 5 m. Mapy v plošších oblastech mohou mít vrstevnice o intervalu 2,5 m. Pro lepší popis terénu bývají použity doplňkové vrstevnice a pro lepší přehlednost je každá pátá vrstevnice zvýrazněná.

Důležité je zachytit relativní výškovou polohu mezi sousedními objekty. Absolutní výška je méně důležitá, pro lepší přehlednost se tak můžou vrstevnice lehce upravit. Tyto úpravy by však neměly překročit 25% intervalu vrstevnice. Menší objekty, jako jsou kupky, rýhy nebo jámy, jsou v mapách označeny speciálními značkami taktéž hnědou barvou.

#### **2.2.2.1. Skály a kameny**

Skály jsou speciální terénní útvary. V mapách jsou značeny černou barvou. Běžce tato značka informuje o nebezpečí a o možné průchodnosti v daném místě. DO této kategorie patří skalní srázy, skalní věže, balvany, kameny, kamenná pole a další kamenné objekty.

#### **2.2.2.2. Voda a bažiny**

Tato skupina objektů je znázorněna modrou barvou. Jedná se o veškeré vodstvo: vodní plochy, řeky, potoky, rýhy, bažiny, prameny a další objekty. Vodní překážky jsou pro běžce často jen těžko překonatelné a tudíž jsou velmi důležitou informací v mapách. Pokud je objekt ohraničen černou čarou (břehovou linií), jedná se o nepřekonatelné a nebezpečné oblasti.

#### **2.2.2.3. Vegetace**

Jedná se o speciální znázornění průběžnosti a viditelnosti v lesním porostu. Čistý vzrostlý les bez vegetačních překážek je znázorněn bílou barvou. Čím je běh v porostu obtížnější, tím tmavší zelenou barvou je tato část porostu znázorněna. Dále se používají zelené šrafy pro znázornění podrostu. Nejčastěji tím jsou myšleny ostružiny, kopřivy a náletové stromky. Místa bez stromů nebo s velkým rozptýlením se vykreslují žlutou barvou (louky, světliny, pole, paseky...)

#### **2.2.2.4. Umělé objekty**

Umělými objekty jsou myšleny všechny objekty vytvořené lidskou činností. Důležitou informací pro běžce je síť cest a jejich klasifikace. Zvláště klasifikace menších cest je velmi důležitá pro závodníky. Klasifikace není rozdělena jen podle šířky cest, ale musí se brát i zřetel na rozpoznatelnost pro běžce v terénu.

Kromě cest tu jsou plošné objekty (budovy, sídliště) další liniové objekty (ploty, teplovody) a bodové objekty (posed, krmelec, hraniční kámen a další).

#### **2.2.2.5. Technické značky**

Jedná se o značky, které neinformují o objektech v terénu, ale pomáhají k orientaci. Jenda z nejdůležitějších je magnetický poledník. Ten je na mapách měřítka 1:15 000 v rozestupu 500 m v reálu, 3,33 cm na mapě (při použití měřítka 1:10 000 je rozestup 250 m v terénu, 2,50 cm na mapě). Dále jsou vykresleny kóty, registrační značky (v pravidelném rozmístění, slouží ke kontrole soutisku barev při tisku offsetovou metodou).

#### **2.2.2.6. Zákres trati**

Pro zákres trati, kterou musí závodník absolvovat, je definováno několik symbolů fialové barvy. Kontroly jsou v mapě značené kružnicemi a jsou spojeny rovnými plnými čarami. Pokud je na trati povinný úsek, nejčastěji kolem zakázaného nebo nebezpečného území, je značen čárkovanou čarou. U každé kontroly je pořadové číslo kontroly. Začátek trati je označen trojúhelníkem. Cíl je symbolizován dvěma soustřednými kružnicemi. Do této kategorie spadají i symboly označující zakázané oblasti (fialové šrafy) a umístění občerstvovacích stanic. Všechny tyto značky musí být natištěné transparentně tak, aby byly všechny objekty, které překrývají, vidět. Pokud to situace vyžaduje, je možné tyto fialové symboly přerušit.

PŘEHLED ZNAČEK ISOM2000		
	101	Vrstevnice
	102	Hlavní vrstevnice
	103	Pomocná vrstevnice
	104	Spádnice
	105	Vrstevnicová kóta
	106	Sráz
	107	Hrás
	108	Malá hráz
	109	Rýha
	110	Mělká rýha
	111	Kupka
	112	Malá kupka
	113	Protáhlá kupka
	114	Prohlubeň
	115	Malá prohlubeň
	116	Jáma
	117	Rozbitý povrch
	118	Zvláštní terénní objekt
	201	Neschůdný sráz
	202	Skalní masiv / stěna
	203	Schůdný skalní sráz
	204	Kamenná jáma
	205	Jeskyně
	206	Balvan
	207	Velký balvan
	208	Balvanové pole
	209	Shluk balvanů
	210	Kamenitý povrch
	211	Otevřený písitý povrch
	212	Holá skála
	301	Jezero
	302	Rybníček
	303	Jáma s vodou
	304	Nepřekonatelná řeka
	305	Překonatelný vodní tok
	306	Překonatelný malý vodní tok
	307	Malý vodní příkop
	308	Úzká bažina
	309	Nepřekonatelná bažina
	310	Bažina
	311	Nevýrazná bažina
	312	Studna
	313	Pramen
	314	Zvláštní vodní objekt
	401	Otevřený prostor
	402	Otevřený prostor s rozptýlenými stromy
	403	Divoký otevřený prostor
	404	Divoký otevřený prostor s rozptýlenými stromy
	405	Les: snadný běh
	406	Les: pomalý běh
	407	Podrost: pomalý běh
	408	Les: obtížný běh
	409	Podrost: obtížný běh
	410	Porost: velmi obtížný běh, neprůchodný
	411	Les: průběžný v jednom směru
	412	Sad
	413	Vínice
	414	Výrazná hranice obdělávané půdy
	415	Obdělávaná půda
	416	Výrazná hranice porostů
	417	Nevýrazná hranice porostů
	418	Zvláštní vegetační objekt
	419	Zvláštní vegetační objekt
	420	Zvláštní vegetační objekt
	501	Dálnice
	502	Větší silnice
	503	Menší silnice
	504	Silnička
	505	Vozová cesta
	506	Pěší cesta
	507	Pěšina
	508	Nevýrazná pěšina
	509	Průsek
	510	Zřetelné rozcestí
	511	Nezřetelné rozcestí
	512	Lávka
	513	Křížení s mostem
	514	Křížení bez mostu
	515	Železnice
	516	Elektrické vedení
	517	Hlavní elektrické vedení
	518	Tunel
	519	Kamenná zeď
	520	Rozpadlá kamenná zídka
	521	Vysoká kamenná zeď
	522	Plot
	523	Rozpadlý plot
	524	Vysoký plot
	525	Průchod, přechod
	526	Budova
	527	Sídlisko
	528	Trvale nepřístupná oblast
	529	Dlažbová plocha
	530	Zřícenina
	531	Stělnice
	532	Hrob
	533	Překonatelné potrubí
	534	Nepřekonatelné potrubí
	535	Vysoká věž
	536	Malá věž
	537	Mohyla (hraniční kámen)
	538	Krmelec
	539	Zvláštní umělý objekt
	540	Zvláštní umělý objekt
	601	Magnetické poledníky (severníky)
	602	Registrační značky
	603	Výšková kóta
	701	Start
	702	Kontrola
	703	Číslo kontroly
	704	Spojnice
	705	Značený úsek
	706	Cíl
	707	Nepřekročitelná hranice
	708	Průchod, přechod
	709	Nepřístupná oblast
	710	Nebezpečná oblast
	711	Zakázaný postup
	712	Stanoviště první pomoci

Obr. 2.2 ISOM 2000 [9]

### 2.2.3. Mapy pro disciplínu sprint

Disciplína sprint se vyvinula v posledních 15 letech. Jedná se o krátké závody na cca 15 minut převážně v městech a parcích. Charakteristické pro tento typ závodu je, že se závodník rozhoduje ve vysoké rychlosti kudy poběží. Základem jsou rychlé volby postupů a závodník potřebuje vidět, kde může proběhnout a kde ne. Spolu s vývojem této disciplíny se vyvíjel i mapový klíč. Současný mapový klíč pro sprintové mapy je ISSOM 2007 (International Specification for Sprint Orienteering Maps, obrázek č. 2.3).

Měřítko map se používá 1:5 000 nebo 1:4 000 s intervalem vrstevnic nejčastěji 2,5 m. V mapě je kladen důraz na překonatelnost překážek. Objekty, které jsou nakreslené jako

nepřekonatelné, je zakázáno překonávat pod trestem diskvalifikace. Proto musí být jednotlivé značky od sebe snadno rozlišitelné. Nejčastěji jsou tyto značky odlišeny svojí šířkou a barvou. Nepřekonatelné značky bývají černé a širší. Překonatelné jsou šedivé a užší. Mapový klíč je obohacen o speciální značky objektů, které se v lese nevyskytují (například podloubí, podchody, sochy, sloupy apod.). Rozdíl mezi klíči ISOM 2000 a ISSOM 2007 je patrný na obrázku č. 2.4. [5]

	vrstevnice, hlavní vrstevnice		podrost: pomalý běh, obtížný běh
	doplňková vrstevnice, spádovka		sad, sad, jeden směr, obdělávaná půda
	sráz, malá hráz		výrazná hranice, výrazná hranice obdělávané půdy
	rýha, mělká rýha		velký význačný strom, strom, význačný keř
	kupka, malá kupka, protáhlá kupka		nezpevněná cesta
	prohlubeň, jáma, plošina		úzká nezpevněná cesta, nebýrazná pěšina
	rozbitý povrch, otevřený písčité povrch		průsek, most
	neschůdný sráz*		železnice*, tramvaj
	schůdný skalní sráz		elektrické vedení, hlavní elektrické vedení
	kamená jáma, jeskyně		podchod nebo tunel, schody
	balvan, velký balvan, balvanové pole		překonatelná zeď, nepřekonatelná zeď*
	skalní věž, holá skála		překonatelný plot, nepřekonatelný plot*, průchod budova*, kanopy, sloup
	nepřekonatelné*/překonatelné vodní těleso		oblast se zakázaným vstupem*, zpevněná plocha
	překonatelný vodní tok, vodní příkop, úzká bažina		překonatelné potrubí, nepřekonatelné potrubí*
	nepřekonatelná bažina*, bažina, nevýrazná bažina		vysoká věž, malá věž, hraniční kámen, pomník
	studna, vodní jáma, pramen, význačný vodní objekt		krmelec, význačný objekt
	otevřený prostor, s rozptýlenými stromy		magnetický poledník, výšková kóta
	divoký otevřený prostor, s rozptýlenými stromy		
	les: snadný běh, pomalý běh, obtížný běh		
	velmi obtížný běh, nepřekonatelná vegetace*		

SYMBOLY OZNAČENÉ HVĚZDČIKOU JE ZAKÁZÁNO PŘEKONÁVAT POD TRESTEM DISKVALIFIKACE

Obr. 2.3 ISSOM 2007



Obr. 2.4 ISOM 2000 a ISSOM 2007 [21][22]

### 3. VÝŠKOPIS NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY

#### 3.1. Digitální model terénu

Terén lze vyjádřit různými způsoby. Na historických mapách se terén znázorňoval kopečkovou metodou, stínováním, hypsometricky nebo vrstevnicemi. Současná technika umožňuje práci s digitálními 3D modely různých objektů, včetně terénu.

Pojem „Digitální model terénu“ není zcela jasný hlavně proto, protože slovo terén lze vysvětlit různými způsoby. Za terén je možné považovat pouze zemský reliéf, reliéf i s vodstvem nebo reliéf včetně umělých objektů (jako jsou budovy) a vegetace.

Z těchto důvodů lze rozlišovat modely podle vyjadřované plochy. Digitální model terénu (dále už jen jako DMT) nebo také anglicky DTM (Digital Terrain Model) popisuje zemský reliéf. Oproti tomu digitální model povrchu DMP (anglicky DSM Digital Surface Model) vystihuje plochu tvořenou vším, co se na zemském povrchu nachází včetně budov, vegetace a jiných objektů. Na obrázku č. 2.1 je znázorněn rozdíl mezi modelem terénu a modelem povrchu (modře digitální model povrchu = DSM a červeně digitální model terénu = DTM)



Obr. 3.1 Rozdíl mezi Digitálním modelem terénu a povrchu [18]

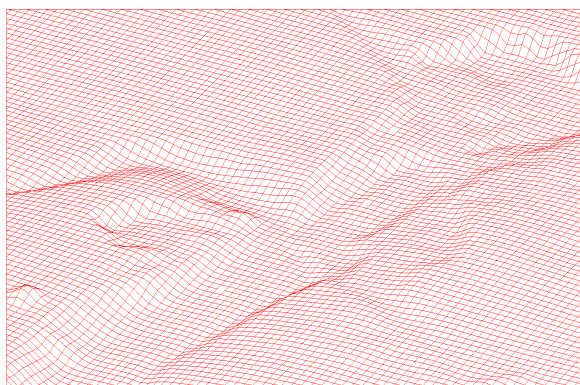
Některé programy pracují s formátem DEM (Digital Elevation Model - digitální výškový model). Takový model může reprezentovat jakoukoliv plochu, ať už se jedná o reliéf nebo o povrch. Model je tvořen body, které jsou vztaženy ke zvolené rovině. Všechny tyto modely jsou tvořeny množinou bodů, linií a ploch, které jsou uloženy v paměti počítače.

I když uvážíme, že DMT se týká pouze reliéfu bez budov a vegetace, je jeho interpretace velmi složitá. Terénní plocha je velmi nepravidelná, proto jakýkoliv model je

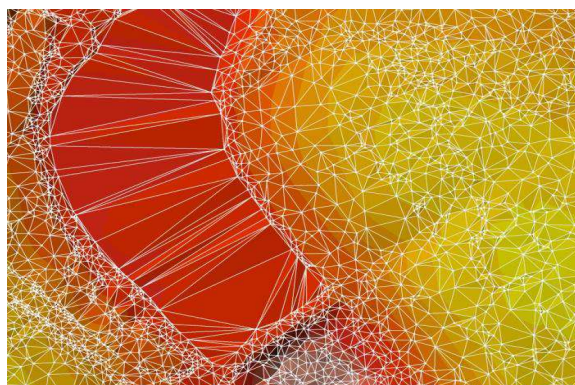


jen přiblížením skutečného stavu. Ke ztvárnění terénu je možné použít několik způsobů. Modely lze rozdělit podle uložení dat na nepravidelné TIN (Triangulated Irregular Network) nebo na rastrové GRID (mřížka).

Model TIN je tvořen nepravidelnými trojúhelníky, které k sobě přiléhají. Vrcholy trojúhelníků jsou tvořeny body, které leží na terénu. Body jsou rozmístěny nerovnoměrně. Rastrový model tvoří síť pravidelně rozmístěných bodů, uzlů, ke kterým je vztažena výška. Tento model je většinou vygenerován z nepravidelně zaměřených bodů. Ukázky těchto modelů jsou na obrázcích č. 3.2 a 3.3. U plátového modelu je předpoklad, že je tvořen trojúhelníky nebo čtyřúhelníky obecného tvaru a jejich hrany tvoří singularity (lomové hrany terénu). [10]



Obr. 3.2 Model typu GRID [23]



Obr. 3.3 Model typu TIN [23]

Pro přesnost modelu je důležité, jakým způsobem a jak hustě jsou zaměřeny body v terénu. Záleží na zobrazovací metodě terénu nebo pro jaký typ DMT jsou tyto body zaměřovány. Zaměření bodů pro DMT lze provést několika způsoby, například tachymetricky, plošnou nivelací, fotogrammetricky nebo laserovým skenováním.

### 3.2. Historická výškopisná data na území České republiky

Topografické mapy na území České republiky obsahovaly i výškopis. Ten byl vytvořen převážně fotogrammetrickou metodou, jen část byla zaměřena v terénu. První pokusy o vytvoření matematického modelu pokrývajících celé území Československa sahají do konce 60-tých let 20. století. O vývoj a zpracování digitálních modelů terénu se zasadila hlavně armáda.

První digitální model reliéfu pro celé území Československa byl vytvořen v 80. letech, jeho označení je DMR-1 (1. generace). Je tvořen sítí buněk o velikosti  $1 \times 1$  km v souřadnicovém systému S-42 a ve výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv). Výšky

jsou dány nejvyšším místem v buňce a jsou vztažené k jihozápadnímu rohu. Výšky byly ručně odečítány z topografické mapy 1:200 000. Chyby v odečtených výškách se mohou pohybovat kolem 15-30 metrů v závislosti na složitosti terénu.

V roce 1992 až 1995 vznikl model 2. generace, DMR-2. Tento model je v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv a velikost buňky je  $100 \times 100$  m. Výšky byly odečítány z topografických map měřítka 1:25 000. Tento model pokrývá celou Českou republiku, Slovenskou republiku a 50-ti kilometrový pruh za státní hranicí. Udávaná přesnost je 3-15 m.

V roce 2001 vznikla digitální výšková data (DVD) označovaná také jako DMR-2,5. Pro vytvoření posloužila vrstva vrstevnic z digitálního modelu území 25. Vrstevnice byly doplněny o výškové body I. až IV. řádu. Byly vygenerovány uzlové body v síti  $100 \times 100$  m.

V roce 1998 začala Armáda ČR vyvíjet digitální model reliéfu třetí generace (DMR-3). Vznikl v letech 2003 až 2008 stereofotogrammetrickým mapováním. Buňka tohoto modelu je o velikosti  $50 \times 50$  m.

Všechny tyto modely, kromě DMR-3, vycházejí z topografického mapování v letech 1952 až 1957. Postupně byly aktualizovány a modifikovány, ale i přesto se nepodařilo zachovat jejich přesnost a homogenitu. Proto bylo rozhodnuto o vytvoření nových modelů reliéfu za pomoci leteckého laserového skenování. [15]

### **3.3. Letecké laserové skenování**

#### **3.3.1. Princip leteckého laserového skenování**

Jednou z bezkontaktních měřících metod je LIDAR (Light Detection And Ranging). Princip této metody je měření vzdálenosti na základě měření tranzitního času, za který paprsek vyslaný z přístroje se odrazí a vrátí zpět. Vzdálenost se spočítá ze znalosti rychlosti šíření světla. Takto se získá mračno bodů, ze kterého je možné vytvořit modely povrchu, terénu nebo budov. Výhodou leteckého skenování je, že za krátké časové období lze získat data z velkého území.

Samotný přístroj LIDAR se skládá z několika částí. Přístroj obsahuje zdroj laserového záření, optickou soustavu, detektor elektromagnetického záření a velmi přesné hodiny. Při leteckém využití musí být zdroj záření dostatečně silný, neboť intenzita klesá

s druhou mocninou vzdálenosti, kterou paprsek urazí od zdroje k překážce a zpátky k detektoru. K dalšímu pohlcení dochází při odrazech od překážek. [8]

### **3.3.2. Jednotka IMU**

Jednotka IMU (Inertial Measurement Unit), někdy nazývaná jako navigační jednotka, je soustava akcelerometrů a gyroskopů. Pomocí akcelerometrů se zaznamenávají změny zrychlení v čase. Oproti tomu gyroskopy zaznamenávají změny náklonu. Kombinací těchto měření zařízení lze určit polohu přístroje. Tyto přístroje zaznamenávají velmi malé změny a z těchto údajů lze vypočítat trajektorii letu. Jelikož jsou tato měření ovlivněna systematickými chybami, měření po delším čase ztrácí přesnost. Proto pro určení přesné polohy se používá GPS. Jednotka IMU slouží hlavně k určení aktuálních náklonů letadla a tím i skeneru. Střední chyby měřených úhlů náklonu jsou určovány s přesností  $0,003^\circ$  až  $0,007^\circ$ . Náklony jsou snímány s frekvencí 400 Hz. Tyto hodnoty se mohou lišit podle výrobce. [8]

### **3.3.3. Určování polohy GPS**

Trasa letadla je předem naplánovaná a celý let koriguje autopilot připojený k GPS zařízení. Samotný laserskener je opatřen GPS aparaturou, která určuje polohu skeneru v každém momentě. Frekvence záznamu polohy GPS aparatury je 2 Hz. Zaznamenává se informace o kvalitě určené polohy. Zpětně je vyhodnocena přesná trasa. Poloha laserskeneru v prostoru je určena s přesností na 10 cm. GPS slouží nejen k určení polohy skeneru, ale i k synchronizaci všech hodin používaných při skenování. Pokud je letadlo vybaveno více GPS aparaturami, je možné určovat i jednotlivé náklony letadla.

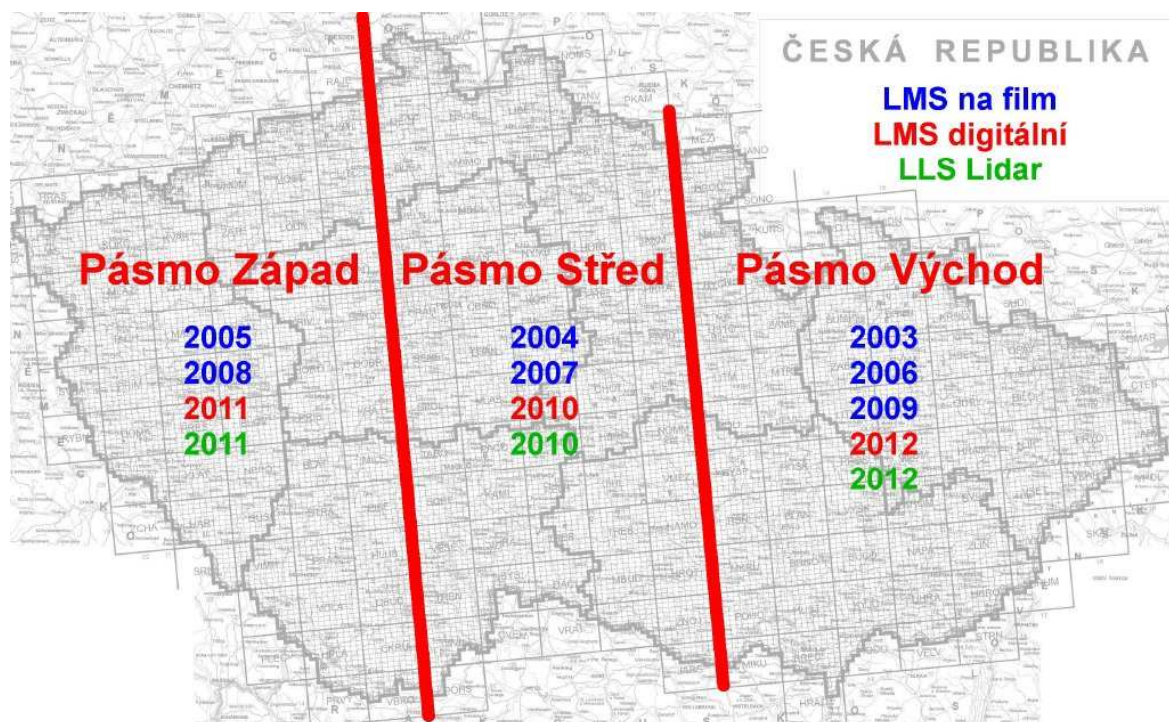
## **3.4. Letecké laserové skenování na území České republiky**

V roce 2008 Ministerstvo obrany ČR, Ministerstvo zemědělství ČR a Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK) uzavřely dohodu o tvorbě digitálních databází výškopisu na území České republiky. Požadavkem bylo vytvořit přesný model terénu na celém území České republiky. Výsledným produktem jsou modely terénu, konkrétně digitální model terénu čtvrté generace a páté generace (DMR 4G a DMR 5G). Dalším produktem je digitální model povrchu první generace (DMP 1G).

Území celé republiky bylo rozděleno do tří pásem „Západ“, „Střed“ a „Východ“ a postupně skenováno. V plánu bylo naskenovat celou republiku mezi lety 2010 a 2012 (viz



obrázek č. 3.4). Skenování začalo pásmem „Střed“, které bylo naskenováno v období od 22.března do 10. října roku 2010. O rok později, konkrétně mezi 9. březnem a 27. červencem, bylo naskenováno pásmo „Západ“. V roce 2012 bylo skenování přerušeno kvůli poruše na letadle. V roce 2013 by mělo skenování pokračovat pásmem „Východ“. Aktuálně je naskenováno 68,2% území. Na tomto území je také zpracován DMR 4G (viz Obr. 3.10). DMR 5G je hotový na cca 36% (viz Obr. 3.11) a DMP 1G na 32% území. Vše by mělo být zpracováno do roku 2015. [1]



Obr. 3.4 Původní plán skenování ČR [16]

### 3.4.1. Přístrojové vybavení

Letecké laserové skenování na území ČR je prováděno systémem LiteMapper 6800. Tento systém poskytuje firma IGI mbH. Systém využívá skener Riegl LMS – Q680. Prostorová poloha skeneru a prvky vnější orientace se určují pomocí GPS (Global Position System) a IMU (Intertial Measurement Unit). Poloha je zjišťována pomocí GPS metodou RTK s připojením na referenční permanentní stanice GPS. Sklonové poměry a natočení zaznamenává jednotka IMU. Určení polohy skeneru v daném momentě je s přesností na několik centimetrů. Celý systém je umístěn v letadle MO typ L410 FG, které pro tyto účely poskytuje a spravuje Armáda ČR. [1]

### 3.4.2. Parametry přístroje Riegel LMS – Q680

Přístroj Riegel LMS – Q680 (obrázek 3.5) je letecký laser skener s velkým dosahem. Dosah měření s určitou frekvencí snímání a hustota bodů na metr čtvereční jsou ukázány na obrázcích č. 3.6 a 3.7. Technické parametry skeneru Riegel LMS-Q680 jsou následující [3]:

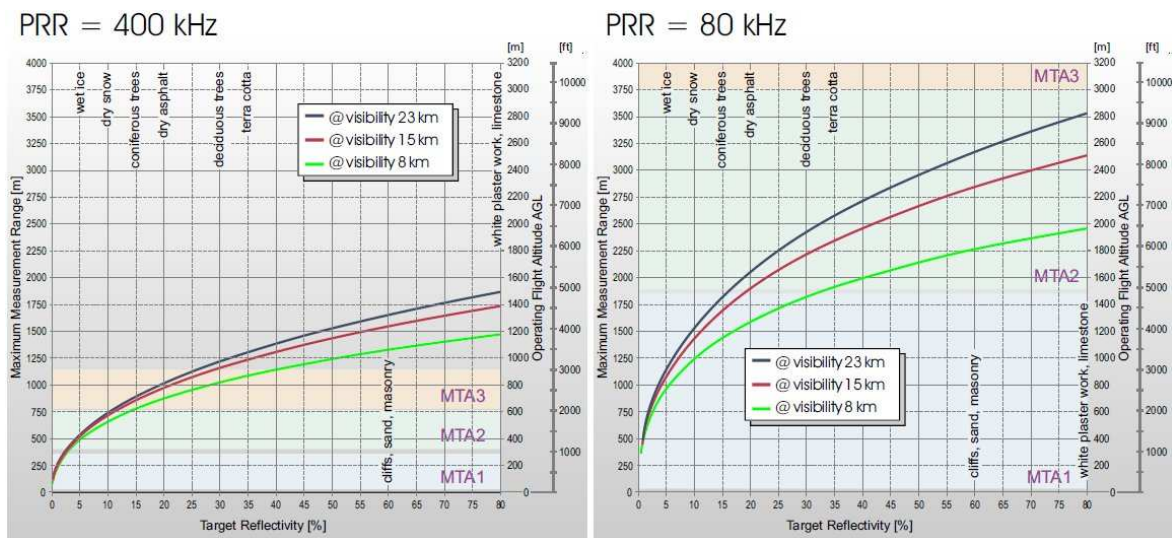
Délka × šířka × výška:	48 × 21,2 × 23 cm
Váha:	17,5 kg
Maximální výška letu:	5 000 m (pracovní)
Minimální měřená vzdálenost:	30 m
Přesnost měření:	20 mm
Frekvence snímání:	až 400 kHz
Efektivní měření:	266 kHz při skenovaném úhlu 60°
Vlnová délka laseru:	blízké infračervené záření
Rozptyl paprsku:	méně jak 0,5 mrad odpovídá 0,5 m při skenování z výšky 1000 m
Počet odražených cílů:	neomezené množství (způsob zaznamenání vícenásobných odrazu je na obr. 3.8)
Skenovací mechanismus:	rotující polygonové zrcadlo
Skenovací úhel:	$\pm 30^\circ = 60^\circ$
Skenovací rychlost:	10-200 řádků za sekundu
Rozestup jednotlivých paprsků:	0,002° při frekvenci 400 kHz 0,01° při frekvenci 80 kHz



Obr. 3.5 Riegel LMS Q680 [3]

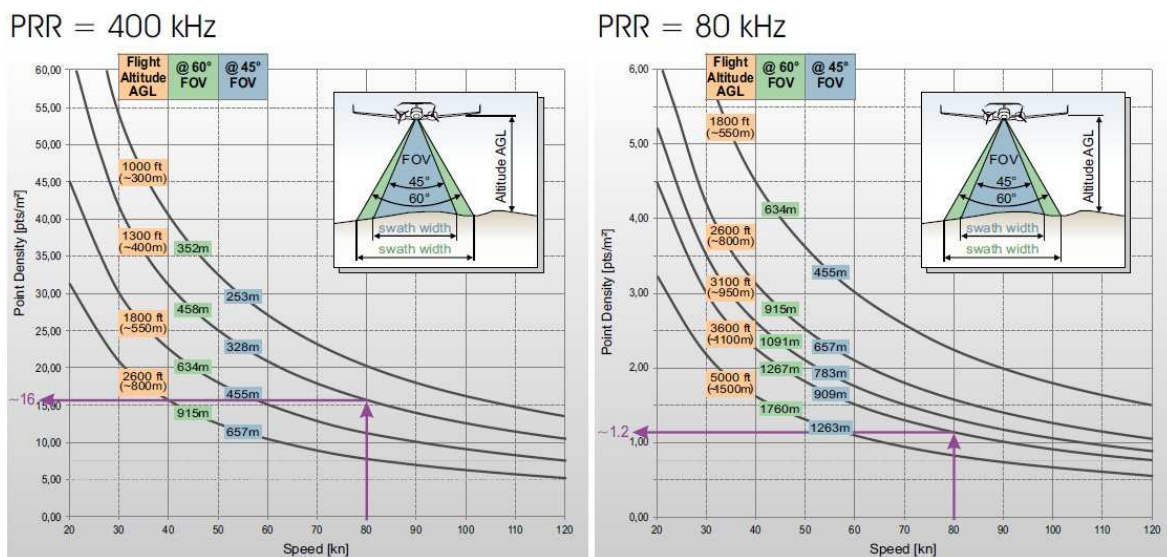
Rozsah měření				
Frekvence snímání	80 kHz	200 kHz	300 kHz	400 kHz
Maximální dosah měření přírodních cílů				
	- s odrazivostí $\geq 20\%$	2000 m	1350 m	1150 m
	- s odrazivostí $\geq 60\%$	3000 m	2200 m	1850 m
Maximální výška letu	1600 m	1100 m	950 m	800 m

Tab. 3.1 Dosah měření při různých frekvencích snímání [3]



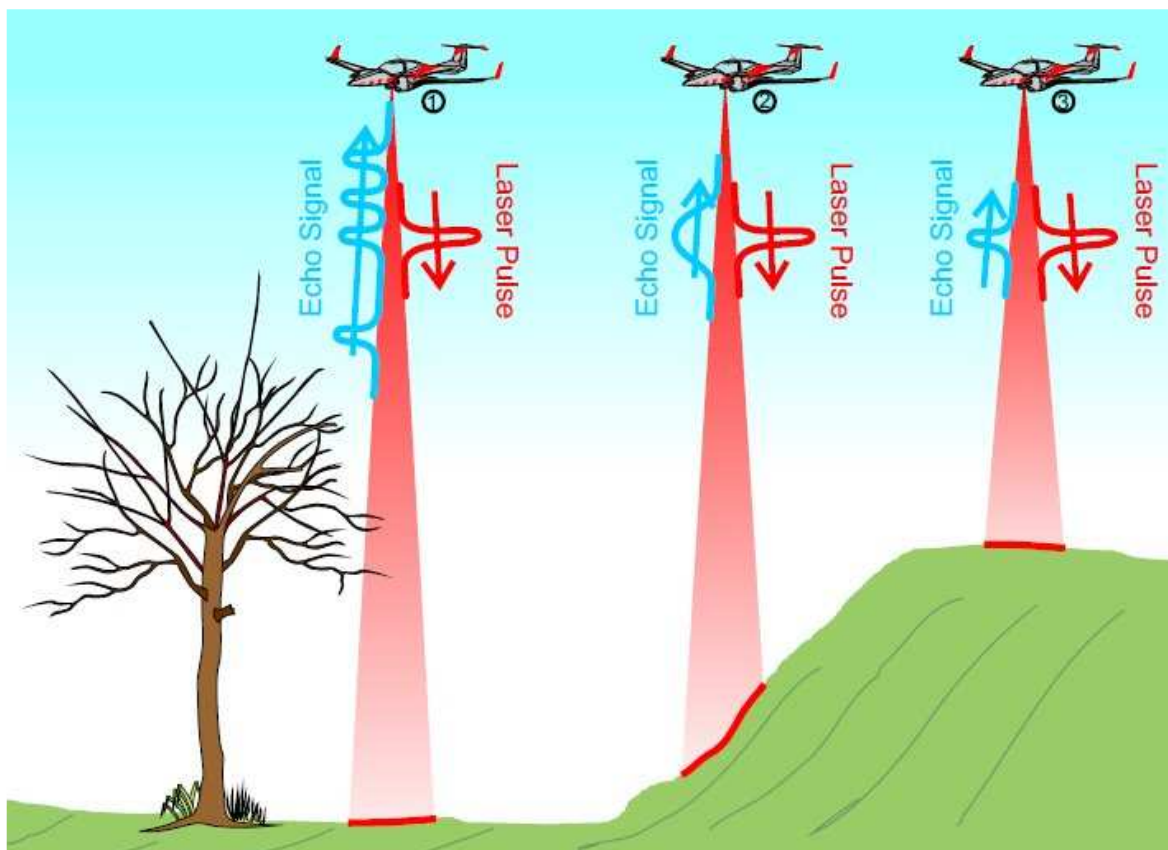
Obr. 3.6 Dosah Riegel LMS-Q680 [3]

Maximální dosahu měření závislosti na odrazivosti pro frekvence snímání 400 kHz a 80 kHz  
Graf je rozdělen pro tři různé viditelnosti (modrá – 23 km, červená – 15 km, zelená – 8 km)



Obr. 3.7 Graf hustoty bodů v závislosti na rychlosti a výšce letu [3]

Rychlost je uvedena v uzlech, 1 uzel je 1,85 km/h, frekvence snímání 400 kHz a 80 kHz (příklad pro 400 kHz: rychlost 80 kn, výška letu 400 m odpovídá 16 bodům na  $m^2$ , příklad pro 80 kHz: rychlost 80 kn, výška letu 1100 m odpovídá 1,2 bodům na  $m^2$ ).



Obr. 3.8 Typy odrazu [3]

- 1 Paprsek se prvně odrazí od větví stromu a vyšle zpět slabší signály
- 2 Paprsek se odrazí od nakloněného povrchu, odražený signál je protáhlejší
- 3 Paprsek se odrazí od rovné země

### 3.4.3. Sběr dat

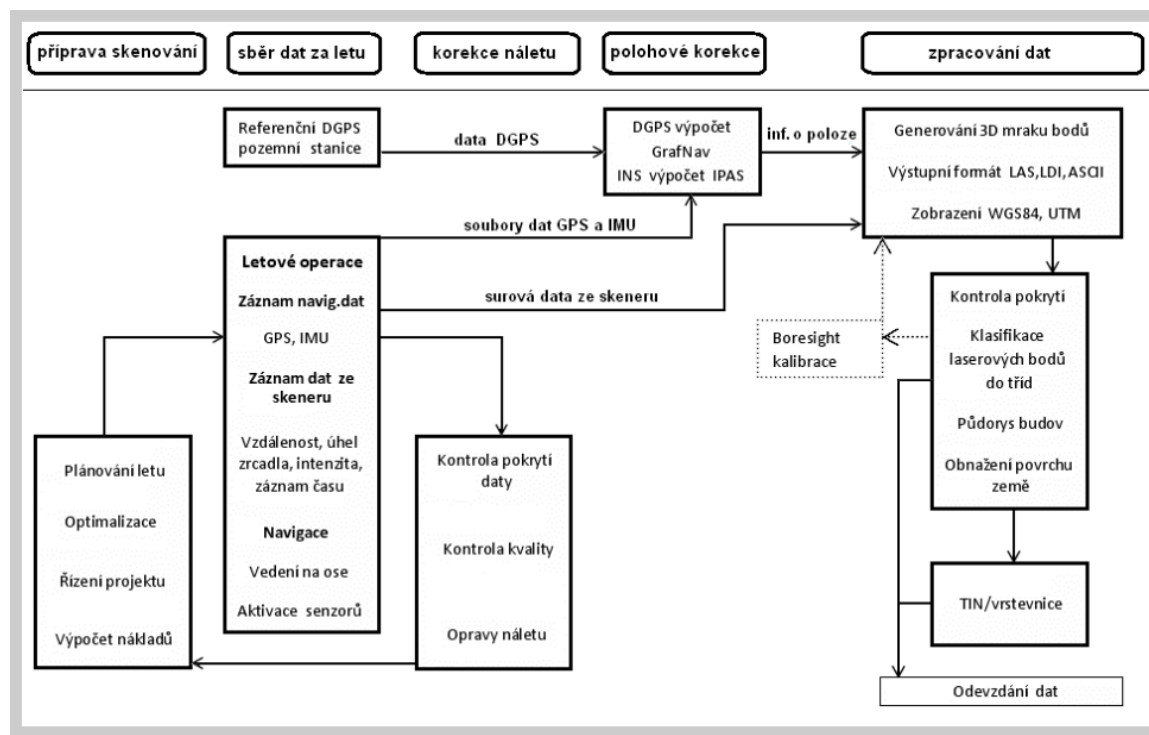
Sběr dat je pořizován z výšky 1200 m nebo 1400 m nad terénem s příčným překryvem 35 – 50%. Hustota bodů na povrchu je 1,6 bodů na metr čtvereční. Pro jeden paprsek může nastat několik odrazů podle překážek nad zemí. Nejčastěji se jedná o odrazy o vegetaci. V zalesněném prostoru se tak může vytratit až 80% bodů. Pro lepší sběr dat je vhodné skenovat na jaře po roztátí sněhu a před zahuštěním zeleně listím. Z fyzikálního hlediska je nemožné skenovat vodní plochy, protože laserový paprsek o používané vlnové délce je vodou zcela pohlcen.

Zpracování takto získaných surových dat je rozděleno do několika fází (Obr. 3.9). Jako první na řadu přichází tzv. „Předzpracování leteckých laserových dat“. Při tomto procesu jsou ze surových dat získávány jednotlivé odrazy laserového paprsku. Získané odrazy se georeferencují a transformují do pracovních polohových souřadnic v referenčním systému UTM/WGS 84. V následném zpracování jsou pak převedeny do systému S-JTSK. Výškově jsou transformovány do systému Balt po vyrovnání.



Pro georeferencování slouží data z referenčních stanic ve formátu RINEX nebo Leica. Jako referenční stanice jsou používány stanice v síti CZEPOS, VESOG a částečně stanice POLOM spravované VGHMÚř (Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad).

Další částí zpracování dat je „Robustní filtrace“. Za využití sofistikovaných automatických metod jsou separovány body podle odrazu. Vznikají tak soubory dat, které jsou roztrženy na terén (včetně skal), vegetaci a stavby (včetně výškových překážek pro letecký provoz). Správnost roztržení závisí na ročním období. V období bez rozvinuté vegetace je úspěšnost až 90%, ale v letním období klesá na 30%. Další fáze se liší pro DMR 4G a DMR 5G. [1]



Obr. 3.9 Schéma zpracování naměřených dat [24]

#### 3.4.4. Formát dat

Data jsou ve standardizovaném formátu ASCII 3D. Jedná se o formát dat s příponou .xyz. Tento formát je jednoduchý textový soubor, kde na každém řádku jsou informace o jednom bodě. Informace o bodě tvoří prostorové souřadnice X, Y a Z. Souřadnice jsou mezi sebou odděleny mezerou.

Poskytnutá data byla rozdělena do šesti vrstev označených koncovkou podle typu vrstvy (B, E, G, H, M, V). Data byla rozdělena do vrstev automatickou filtrací. Vrstva

s koncovkou B je vrstva budov, které jsou vyšší víc než 2,5m. Ve vrstvě E jsou body, které jsou vyhodnocené jako chyby, které jsou více jak 10 metrů pod terénem. G je vrstva samotného terénu bez budov, vegetace a dalších překážek. Ve vrstvě H jsou body, které jsou vyhodnoceny jako chyby nad terénem (například letící pták). Další vrstvou jsou mostovky označené písmenem M. Poslední vrstvou je vrstva V, vegetace. V této vrstvě jsou obsaženy body na vrchní části porostu, první odrazy laseru.

Ukázka poskytnutých dat ve formátu ASCII 3D:

```
-642499.868 -1045480.242 228.212  
-642499.983 -1045481.332 228.129  
-642499.815 -1045475.356 228.163  
-642499.413 -1045474.784 228.149  
-642499.509 -1045475.896 228.147
```

#### **3.4.5. Digitální model reliéfu 4. generace**

Při tvorbě modelu DMR 4G se po robustní filtraci určuje reprezentativní bod ve čtvercové síti 5 x 5 m. V každém čtverci je vybrán bod s nejnižší nadmořskou výškou. Pokud je posouzen jako chybný bod, někdy nazývaný zbloudilý bod, a to když se extrémně liší od okolních bodů, hledá se další reprezentativní bod. Jelikož reprezentativní body jsou nepravidelně rozmístěné, jsou body výškového modelu interpolovány v pravidelné síti 5 x 5 m. Tento model reprezentuje terén včetně skalních útvarů. Jelikož se jedná o rastrový model (model o pravidelné čtvercové síti), nevystihuje zcela přesně malé terénní anomálie.

Přesnost byla ověřena na komparační základně. Jako komparační základna posloužilo bodové pole, které bylo zaměřeno geodetickými metodami. Souřadnice těchto bodů byly určeny v souřadnicovém systému ETRS89 s elipsoidickými výškami, které byly transformovány do výškového systému Balt po vyrovnání. Jako komparační základny byly voleny plochy minimálně 30 x 30 m (zpravidla 50 x 50 m), na kterých nebyl rozdíl mezi kontrolními body větší než 15 cm. Pro tyto účely byly voleny plochy jako jsou fotbalová hřiště, antukové nebo asfaltové plochy, náměstí bez aut a dlážděné plochy.

Ověřením na komparačních základnách byly zjištěny systematické a úplné střední chyby měřených dat LLS. Tyto chyby jsou bez vlivu chyb z transformace. Následně se vypočítají i chyby odvozených modelů v systému S-JTSK. Proto jsou komparační základny převedeny do S-JTSK. Pro každý zaměřený bod geodetickou metodou byly vyinterpolovány výšky z modelu MDR 4G. Z výšek určených geodeticky a výšek

vyinterpolovaných jsou vypočteny výškové rozdíly  $\Delta H = H_{4G} - H_{GEO}$ . Parametry přesnosti byly určeny statistickým zpracováním.

Systematická chyba se spočítala podle vzorce:

$$C_H = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i}{n} ,$$

a úplná střední chyba se vypočetla podle vzorce:

$$m_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}{n}} .$$

Z komparačních základů byla vypočtena systematická chyba o hodnotě  $c_H = -0,12$  m a průměrná hodnota úplné střední chyby byla  $m_H = 0,14$  m. Tyto hodnoty byly dosaženy na základnách, které se nacházely v pásnu „Střed“. V pásnu „Západ“ nebyly zjištěny rozdíly od pásma „Střed“. Pro celý model DMR 4G byla odečtena systematická chyba - 0,12 m. Po odstranění systematické chyby kvalitativní parametry dosáhli těchto hodnot  $c_H = 0,01$  m a  $m_H = 0,08$  m. [1]

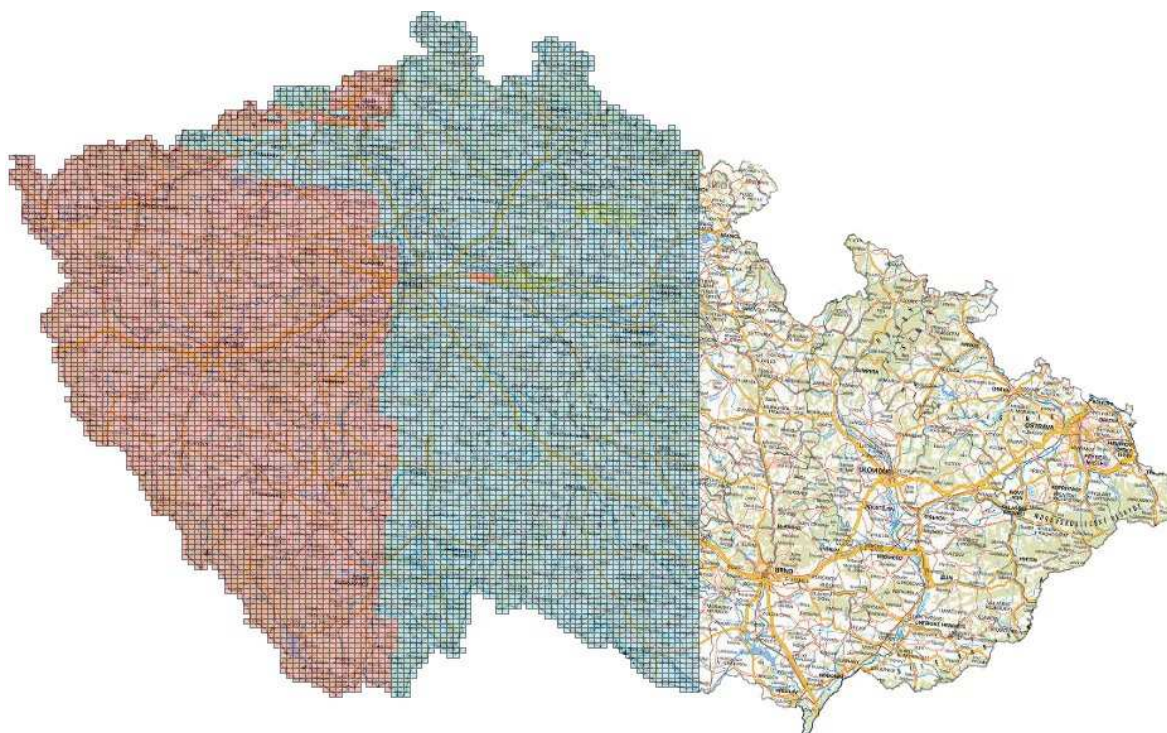
Pro zjištění homogenity DMR 4G na celém území byla ověřena přesnost na vybraných bodech základního bodového pole. Podle místopisů bylo vybráno 1453 trigonometrických a zhušťovacích bodů, které byly rovnoměrně rozmístěny na celém území pásma Střed. Vybrané body byly vybírány tak, aby ležely v málo členitém terénu bez vegetačního krytu. Přes stejné vzorce uvedené výše byly dosaženy systematické chyby -0,15 m a úplná střední chyba 0,25 m. Systematická chyba byla odůvodněna tím, že většina bodů byla stabilizována žulovým kvádrem, který vystupuje o 10-15 cm nad terén.

Posledním ověřením bylo zjištění odchylek na různých typech terénu s různým vegetačním pokrytím. Kontrolní body byly zaměřeny trigonometrickou nivelací pomocí totální stanice. U zaměřených bodů byla zaznamenána charakteristika povrchu. Body byly rozděleny do několika kategorií: cesty a silnice (včetně příkopů, náspů, zářezů), zpevněné plochy v intravilánu, parky v intravilánu, orná půda, louky a pastviny, křoviny, stromořadí a lesy. K těmto bodům byly vyinterpolovány výšky z DMR 4G a spočítány výškové rozdíly. Zjištěné výsledky jsou uvedeny v tabulce 3.2 [1].

Kategorie povrchu a půdního krytu	systematická chyba [m]	úplná střední chyba [m]	maximální chyba [m]
terénní hrany (u cest, silnic a železnice)	-0,25	0,34	0,77
zpevněné plochy	-0,01	0,07	0,26
orná půda	-0,01	0,13	0,66
Louky a pastviny	-0,09	0,18	0,85
křoviny, stromořadí a lesy	-0,02	0,13	0,85

**Tab. 3.2 DMR 4G odchylky [1]**

Garantovaná úplná střední chyba ve výšce modelu terénu DMR 4G je udávána 0,30 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Mohou se vyskytovat lokální anomálie, kde může být tato přesnost překročena. Podle normálního rozdělení statistických veličin by neměl být překročen dvojnásobek úplné střední chyby v 95% a trojnásobek v 99,7% případů.



**Obr. 3.10 Rozsah DMR 4G (k 15.5.2013) [20]**

#### **3.4.6. Digitální model reliéfu 5. generace**

DMR 5G je model tvořený nepravidelnou trojúhelníkovou sítí tzv. TIN. Zpracovává se poloautomaticky. V zalesněném území a složitějším terénu (skály) automatické zpracování zcela nefunguje, proto je nutné ručního dočištění chyb. Výsledný model je výsledkem několika dalších generalizací, aby data nebyla tak velká.



U modelu DMR 5G je oproti DMR 4G další fází po robustní filtraci manuální zpracování dat. Pro odstranění co možná největšího počtu chyb se v této ruční fázi používá interaktivní vizuální kontrola dat. Touto kontrolou jsou chybně přiřazené body ve vrstvách přearazeny do jiných vrstev. Po této kontrole jsou výstupem samostatné soubory bodů, které leží na terénu, budovách, vegetaci nebo jsou nějakou výškovou překážkou (soubory označené B, E, G, H, M a V).

V některých oblastech nebylo možné provést manuální přearazení bodů do správné vrstvy. Jednalo se hlavně o oblasti s nízkou a hustou vegetací (pole, louky), kde body ležely na nízké vegetaci a byly chybně přiřazeny k bodům terénu. Proto byl v takovýchto oblastech hledán reprezentativní bod reliéfu. K tomuto účelu byl v polygonech takových oblastí terén rozdělen na čtverce 5 x 5 m a v těchto čtvercích byl hledán reprezentativní bod, neboli bod s nejnižší nadmořskou výškou (stejně jako u DMR 4G). Kontrolovaly se sousední body, zda se příliš neliší. Pokud ano, tak byl takový bod označen za chybný, byl odstraněn a hledal se jiný. Takto vyhledané reprezentativní body byly považovány za body skutečně ležící na reliéfu.

Aby data pokrývala celé území, musely být doplněny body v místech, kde nebyla pořízena data při leteckém skenování. Jednalo se o plochy nacházejících se pod budovami, vodní plochy, na kterých jsou paprsky laseru pohlceny, a oblasti s velmi hustou vegetací, kde nepronikl paprsek až na zem. V oblastech, kde se nenacházel žádný bod na 25 m<sup>2</sup>, byly body interpolovány z okolních blízkých výškových bodů. Tím byl model doplněn o uměle vytvořené body, které byly rozmístěny v síti 5 x 5 metrů. U vodních ploch byly doplněny body do 15 m od břehové linie směrem do středu vodní plochy.

Pro zmenšení objemu dat byl model reliéfu zjednodušen. Model je poměrně podrobný a detailní a může být zatížen chybnými body ležícími na nízké vegetaci. Firmou Atlas, spol. s r.o. byl vyvinut postup generalizace modelu (tzv. hoblování), při kterém jsou odstraňovány nadbytečné body a upravovány výšky bodů, maximálně však o 16 cm. Pro řešení byl použit program Atlas DMT, verze 5.9.0. Tak vznikl model terénu s nerovnoměrně rozloženými body s požadovanou přesností modelu DMR 5G.

Při testování na komparačních základnách, stejně jako u DMR 4G, byla ověřena absolutní výšková přesnost leteckého laserového skenování. Vyhodnocením absolutní výškové přesnosti byla zjištěna systematická složka chyby měření  $c_H = -0,034$  m, která byla hromadně z DMR 5G odstraněna.[2]

Jak už bylo popsáno výše, celé zpracování proběhlo v systému UTM a až na závěr byla zpracovaná data transformována do S-JTSK.

Stejně jako u modelu terénu DMR 4G byla ověřena přesnost DMR 5G v několika krocích. Prvním krokem bylo opět ověření přesnosti na komparačních základnách, druhým krokem bylo ověření na bodech základního bodového pole a posledním ověřením bylo kontrolní geodetické měření v terénu na různých typech povrchu a zakrytí vegetací.

Na komparačních základnách byla zjištěna průměrná systematická chyba  $c_H=0,0002$  m (při maximální chybě 22 cm) a průměrná hodnota úplné střední chyby  $m_H = 0,058$ m.<sup>1</sup> Při zjištění homogenity na bodech základního bodového pole byla systematická chyba -0,09 m a úplná střední chyba 0,20 m. Systematická složka odpovídá způsobu stabilizace, kterou je žulový hranol vystupující několik centimetrů nad terén. Tyto odchylky nesloužily k zjištění absolutní přesnosti modelu, ale ke zjištění homogenity na již zpracovaném území pásma „Střed“. Vyhodnocením těchto kontrol nebyly zjištěny významnější anomálie. [2]

V poslední kontrole bylo geodeticky zaměřeno 3014 bodů na 21 různých lokalitách. Toto zaměření bylo provedeno totální stanicí metodou trigonometrické nivelace. Vycházelo se z bodů základního polohového bodového pole, které byly výškově ověřeny metodou GNSS. V nutných případech se vycházelo z dočasných stanovisek, která byla vytyčena pomocí GPS aparatury. Byly vygenerovány body se stejnými souřadnicemi a spočítány rozdíly, ty jsou uvedeny v tabulce 3.3. [2]

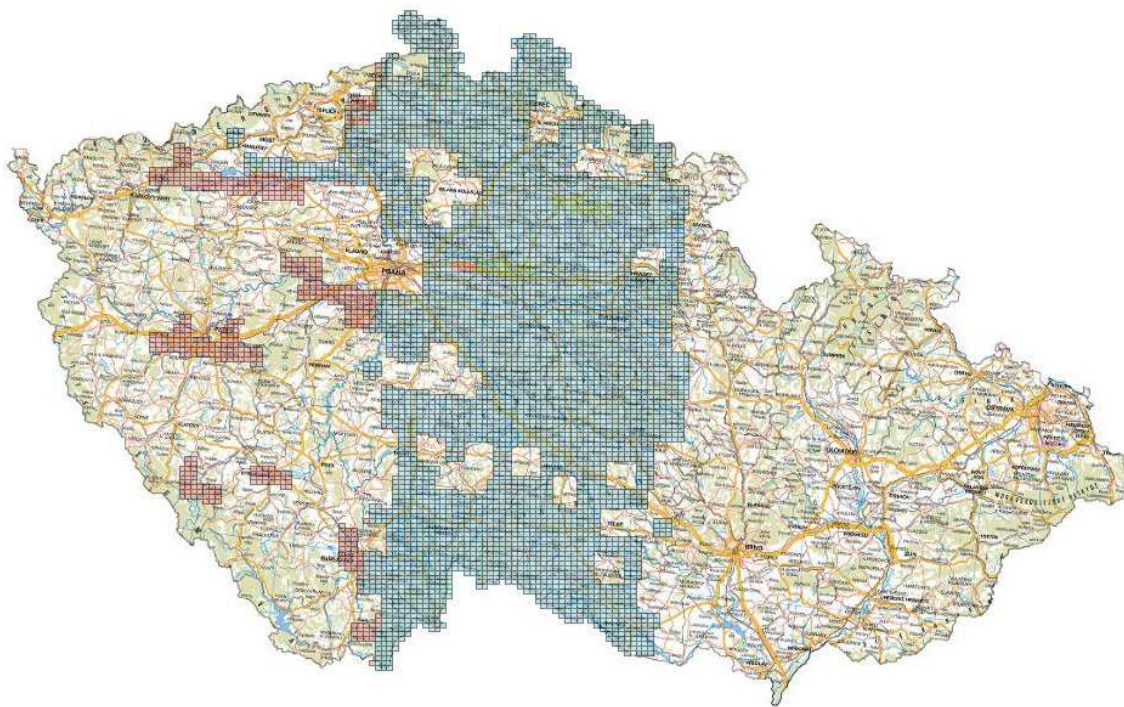
Kategorie povrchu a půdního krytu	systematická chyba [m]	úplná střední chyba [m]	maximální chyba [m]
terénní hrany (u cest, silnic a železnice)	-0,11	0,18	0,66
zpevněné plochy	-0,09	0,13	0,37
orná půda	-0,07	0,14	0,56
Louky a pastviny	-0,03	0,21	0,42
křoviny, stromořadí a lesy	-0,06	0,13	0,46
<b>Průměr</b>	<b>-0,07</b>	<b>0,14</b>	<b>0,49</b>

Tab. 3.3 DMR 5G odchylky [2]

U tohoto modelu je udávána úplná střední chyba ve výšce 0,18 m v otevřeném terénu a 0,30 v zalesněném terénu. I u tohoto modelu se mohou podle normálního

<sup>1</sup> Systematická chyba se mi zdá poněkud malá. Desetina milimetru při tomto způsobu měření nelze zaznamenat

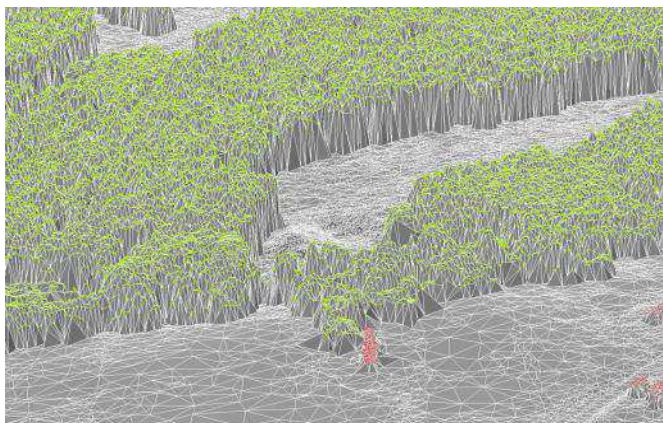
rozdělení statistických veličin vyskytovat s malou pravděpodobností lokální chyby, které překročí tyto hodnoty.



Obr. 3.11 Rozsah DMR 5G (k 15.5.2013) [20]

#### 3.4.7. Digitální model povrchu

Digitální model povrchu vzniká současně s DMR 5G. Jedná se o první model povrchu na území České republiky, proto má označení DMP 1G. Stejně jako DMR 5G se jedná o model TIN, jak je zobrazené na obrázku č. 3.12. Je tvořen body, které jsou zaměřeny prvními odrazy paprsku z laser skeneru. Pro požadované účely tohoto modelu, jsou objekty menší než 2,5 m odfiltrovány. Úplná střední chyba výšky je 0,4 m pro přesně vymezené objekty (budovy) a 0,7 m pro přesně neohraničené objekty (lesy a stromy).



Obr. 3.12 Model povrchu [23]

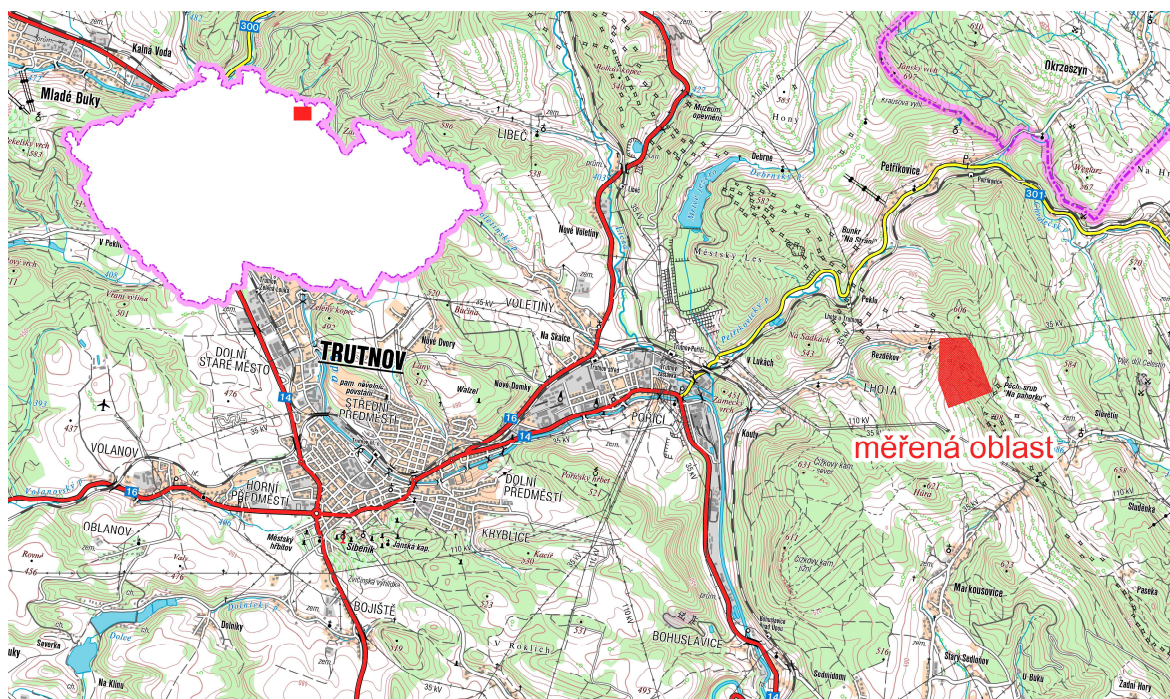


## 4. OVĚŘENÍ PŘESNOSTI VE VYBRANÉ LOKALITĚ

### 4.1. Lokalita

Většina závodů orientačního běhu bývá v zajímavých a těžkých terénech. Takové terény nejčastěji obsahují různé kamenné a skalnaté útvary. Bývají terénně členité a mění se charakter porostu. Optimální terén pro závod je orientačně a fyzicky náročný. Fyzickou náročnost nezpůsobují jen kopce a velká převýšení, ale i podložka po které musí závodník běžet. Příkladem těžké podložky může být kamenité pole, borůvčí, ostružiny nebo jen popadané větve, které je nutno neustále překonávat.

Pro ověření přesnosti laserscanningu byla vybrána oblast nedaleko Trutnova. Jedná se o hřeben se skálami u vesnice Bezděkov (viz Obr. 4.1). Místo bylo vybráno z několika důvodů. Charakter prostoru odpovídá zajímavému terénu, v tomto případě to znamená, že je tvořen složitějšími terénními tvary a skalními srázy. Dalším důvodem pro výběr této lokality byla skutečnost, že se přímo v lokalitě nachází bod státní triangulační sítě, z kterého je možné kontrolně zaměřit tuto oblast. A jako posledním důvodem bylo, že v daném místě už byla vytvořena mapa pro orientační běh. Tyto mapy byly zhotoveny na podkladech vytvořených ze základních map. To umožňuje porovnat různé verze map a zjistit jejich změny v průběhu času a v důsledku použitých podkladů.



Obr. 4.1 Oblast Bezděkov

Druhá oblast, ve které byla zpracována podkladová data a kde byla vytvořena sprintová mapa, byla okraj sídliště v Hradci Králové (Obr. 4.2). Jedná se o otevřený terén se zástavbou panelových domů, velkým výskytem cest a parkovišť. Hned vedle zástavby je lesopark. Tento prostor splňuje požadavky pro disciplínu sprint, tedy rychlý terén, který umožňuje volby postupů.



Obr. 4.2 Oblast v Hradci Králové

## 4.2. Měření

Měření bylo provedeno začátkem listopadu 2012 za pomoci totální stanice Topcon GPT 3003N. Další pomůcky, které byly využity při měření, byly odrazný hranol, pásmo a stativ. Při měření byl veden náčrt, aby bylo možné zadat v programech lomové hrany terénu. Snahou bylo pokrýt terén souvislou sítí bodů a zaměřit lomové hrany. K tomu byl přes území veden polygonový pořad a z jeho vrcholů byly zaměřeny podrobné body. Pro pokrytí celé vybrané oblasti bylo nutné z polygonu vyvést dva dvojité rajony a dva jednoduché rajony.

#### **4.2.1. Přístrojové vybavení**

Kontrolní měření bylo provedeno totální stanicí Topcon GPT - 3003N. Výrobce udává chybu měřeného úhlu v jedné poloze je 10CC. Délky byly měřeny elektronickým dálkoměrem, u kterého výrobce uvádí přesnost 2 mm + 2 ppm při měření délky na odrazný hranol a 5 mm + 2 ppm při bezhranolovém měření. Při měření byl použit odrazný hranol Topcon s konstantou hranolu -30 mm. Hranol byl přidělán na teleskopickou výtyčku. Na stanoviskách byl přístroj postaven na duralovém stativu a centrován pomocí optického centrovače. Výška stroje se měřila pomocí pásma.

#### **4.2.2. Sít' stanovisek**

Pro pokrytí území byl veden polygonový pořad mezi ZhB č. 219 a trigonometrickým bodem č. 8. Bod č. 219 se nacházel uprostřed měřené lokality na skále a bylo možné z něj orientovat na zhušťovací bod číslo 218 a kostel v Trutnově Poříčí. Pro pokrytí celého území nestačil pouze polygonový pořad, a tak bylo nutné vést z něho rajony. Takto bylo zaměřeno 6 stanovisek. Pokud to bylo možné, byly dále měřeny orientace na trigonometrický bod číslo 10 na vysílači Královec. Sít' je znázorněna na obrázku č. 4.3. Body polygonu a rajonů byly dočasně stabilizovány zatlučenými kolíky opatřenými centrační značkou.

Polygonový pořad byl vetknutý a jednostranně orientovaný. Snahou bylo dodržet poměry mezi délkami stran, bohužel jedna strana byla oproti ostatním relativně krátká. Polygonový pořad měl celkem 9 vrcholů a jeho délka byla cca 650 m. Odchyly na bodě č. 8 byly -0,028 m v ose X a +0,045 m v ose Y. Polohová odchylka byla 0,053 m. Na obou bodech byly určeny výšky, a tak bylo možné polygon výškově uzavřít. Výškový uzávěr na trigonometrickém bodě byl -0,065 m.



	Y	X	Mxy [m]	Mh [m]
4001	624024,061	1002723,235	0,021	0,050
4002	623998,590	1002729,450	0,021	0,050
4003	624008,335	1002686,535	0,021	0,050
4004	623970,791	1002825,435	0,023	0,051
4005	624050,054	1002787,404	0,022	0,051
4006	624047,513	1002652,960	0,021	0,051
4007	624073,733	1002602,999	0,022	0,051
4008	624030,840	1002584,848	0,021	0,051
4010	624043,139	1002503,270	0,022	0,051
4011	623988,761	1002637,766	0,023	0,051
4012	623931,595	1002711,948	0,025	0,052
4013	624060,144	1002403,743	0,022	0,051
4014	624116,681	1002361,265	0,022	0,051
4015	624164,347	1002310,752	0,022	0,051
4016	624129,873	1002256,348	0,022	0,051
4017	624105,352	1002203,905	0,021	0,050

34



#### 4.2.3. Podrobné body

Podrobné body byly zaměřeny polární metodou z vrcholů polygonu a bodů rajonů. Jako orientace byly použity sousední body sítě. Celkem bylo v prostoru zaměřeno 454 bodů. Pro určení přesnosti zaměření podrobných bodů byly vypočítány střední souřadnicové chyby a střední chyby určení výšky. Z těchto hodnot byl vybrán bod s nejhorší přesností. Za tento bod byl zvolen podrobný bod číslo 186. Střední souřadnicové chyby byly spočítány podle vzorce:

$$m_{X,Y}^2 = \frac{m_s^2 + s^2 m_\omega^2}{2} + \left( 1 - \frac{s}{s_{A,B}} \cos \omega + \frac{s^2}{s_{A,B}^2} \right) m_{X,Y(A)}^2$$

a střední chyby ve výšce podle vzorce:

$$m_H^2 = m_{H_A}^2 + m_{s'}^2 \cos^2 z + s'^2 \sin^2 z \cdot m_z^2 + m_i^2 + m_v^2$$

Hodnoty těchto chyb pro bod 186 byly  $m_{x,y} = 0,031$  m a  $m_h = 0,020$  m. Tyto hodnoty je možné považovat za přesnost zaměření celé oblasti.

#### 4.3. Výsledek

Ze zaměřených podrobných bodů byl vymodelován model terénu a vygenerovány vrstevnice. Přesnost těchto bodů je vyšší než úplná střední chyba modelů DMR 4G a DMR 5G. Proto bylo možné tyto modely porovnat vzhledem k naměřeným bodům.



## 5. PODKLADY PRO TVORBU MAPY

### 5.1. Druhy podkladů

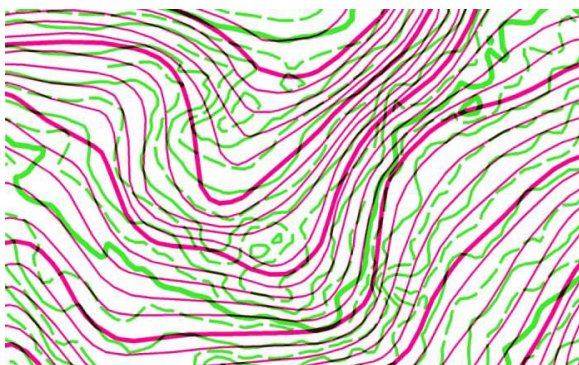
Vždy je možné využít celou řadu různých podkladů, které se liší svou kvalitou, přesností a dostupností. Výběrem a kombinací podkladů lze ušetřit spoustu práce a tím i čas, a zároveň dosáhnout kvalitnějšího výsledku. Pro tvorbu map pro OB lze použít mapy určené pro jiné účely. Podklady by měly obsahovat informace, které se zobrazují v mapách OB.

Často se používají starší mapy pro OB na daném území. Tyto mapy bývají často zkreslené a deformované. U těchto map záleží na tom, zda lze na této mapě nalézt jasně definovatelné body, podle kterých je možné mapu adjustovat, nebo ne. Pokud ne, takovou mapu lze použít jako podklad jen v nouzi.

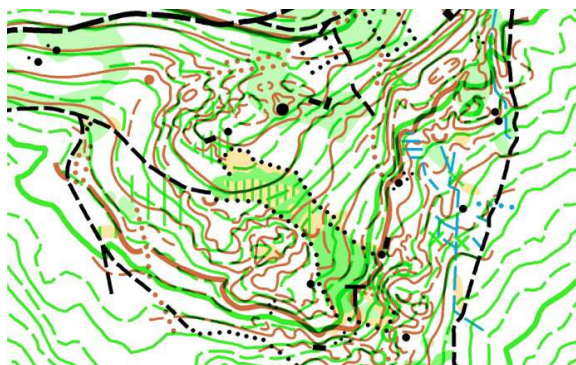
Pokud nejsou ve vybrané lokalitě mapy pro OB a tudíž se provádí zcela nové mapování, používají se jiné mapy, třeba zvětšené turistické mapy nebo topografické mapy. Na těchto mapách bývají kóty o známých souřadnicích a výškách. Na území ČR se používají zejména Základní mapy 1:10 000 a Státní mapy odvozené 1:5 000.

Dalšími hojně využívanými podklady jsou letecké snímky. Mohou být neupravené, tedy s velkým zkreslením hlavně na krajích snímků, nebo zpracované na ortofoto. Ortofoto snímky jsou letecké snímky, jejichž deformace jsou počítačově odstraněny. Tyto snímky jsou ortogonálním průmětem krajiny a je možné z nich obkreslovat mapovanou situaci. [9]

Donedávna byl problém s výškopisem. Jako podklady pro kreslení vrstevnic se používaly Základní mapy nebo ZABAGED<sup>®</sup> – výškopis 3D vrstevnice (případně z něho odvozený model reliéfu ZABAGED<sup>®</sup> – výškopis grid 10 × 10 m). Vrstevnice ZABAGED<sup>®</sup> jsou digitalizované vrstevnice Základních map 1:10 000. Na mapách pro OB se mapují terénní detaily, které se na těchto podkladech nevyskytují (Obr. 5.1). Záleží tedy jen na mapáři, jak přesně zvládne terén vykreslit (Obr. 5.2). [17]



**Obr. 5.1 Porovnání vrstevnic ZABAGED a DMR 4G** [17] (ZABAGED – fialově, DMR 4G - zeleně)



**Obr. 5.2 Porovnání vrstevnic DMR 4G a vrstevnic na staré mapě** [17] (DMR 4G zeleně, hnědě - tak jak to vykreslil mapář)

To se změnilo až s příchodem leteckého laserového skenování. Touto metodou jsou získávána přesná výšková data. Jasně hrany a určité typy objektů (budovy) lze použít i na přesné polohové určení. Při vytvoření modelu povrchu jsou koruny stromů a střechy budov na skutečném místě a nemají zkreslenou polohu. Například ve Skandinávii se pro účely mapování map pro OB nechávají skenovat lesy na podzim nebo na jaře z malé výšky, aby se získal dostatek bodů na zemi a tím mohl vzniknout kvalitní podklady.

## 5.2. Zpracování LLS

Data z LLS byla poskytnuta ČÚZK na šesti mapových listech ZM 1:10 000 o rozměrech území 2 x 2,5 km. Pět mapových listů bylo z oblasti Hradce Králové a jeden z oblasti Bezděkov u Trutnova. Konkrétně byly poskytnuty tyto mapové listy: Hradec Králové 6-1, 6-2, 6-3, 6-4 a 7-3 a Broumov 9-1. Bohužel na mapovém listu Broumov 9-1 nebyla ještě provedena manuální kontrola a data ještě nabyly dočištěna. Pro účely této práce jsou však tato data použitelná.

Zpracování dat laserscanningu bylo provedeno v několika programech. Pro práci byly vybrány tyto programy: Atlas DMT, Ocad 10 (Ocad 11) a ArcMap 10. Výsledky z jednotlivých programů byly mezi sebou porovnány.

### 5.2.1. Zpracování modelu terénu v programu Ocad

Ocad je kartografický program, vyvinutý hlavně pro tvorbu map. Tento program byl původně vyvinut Švýcarem Hansem Steineggerem pro tvorbu map na orientační běh. Postupně byl zobecněn na jakékoliv mapy. První myšlenky na vytvoření programu pro

potřeby orientačních běžců měl Hans Steinegger už v roce 1988. [9] V současné době je k dispozici jedenáctá verze tohoto programu. Postupem času se z jednoduchého kreslicího programu vytvořil kartografický program, který zvládá i práci s databázemi. Současné verze zvládají poměrně velkou část GISu. I přední čeští vydavatelé map používají Ocad pro kreslení svých map (ShoCart, Planstudio) Ocad je stále nejrozšířenější program pro tvorbu map pro orientační běh.

Z hlediska tvorby orientačních map bylo v posledních verzích několik novinek, které zlepšily jejich přesnost a tím i kvalitu. Ve verzi Ocad 9 se dá připojit externí modul GPS. Od verze Ocadu 10 je možné vytvořit DEM (Digital Elevation Model) neboli digitální výškový model. Ve verzi Ocad 10 lze vygenerovat model s velikostí buňky 1 m. Takováto velikost buňky pro generování vrstevnic je dostačující. Z vytvořených modelů lze vygenerovat rastry tzv. „Hypsometric map“ (hypsometrickou mapu barevnou nebo černobílou) nebo „Hill shading“ (stínovaný reliéf).

Verze Ocad 11 umožňuje vytvořit model s velikostí buňky 0,01 m. Pro mapování je tato velikost buňky příliš podrobná a nevyužije se. Navíc oproti verzi 10 lze v Ocadu 11 vypočítat rozdíl mezi dvěma modely nebo dva modely sečíst. To umožňuje při vytvoření digitálního modelu terénu a povrchu zjistit výšky stromů nebo budov. Kvalita generovaných modelů závisí na hustotě a přesnosti vstupních bodů. Ocad 11 navíc oproti verzi Ocad 10 zvládá vygenerovat rastry „Slope gradient“ (rastr sklonitosti terénu) a „Vegetation height“ (rastr výšky porostu). Rastr výšky porostu je pro tvorbu map pro orientační běh velká pomůcka. Většina orientačních map se totiž tvoří pro lesní prostory.

#### **5.2.1.1. Vytvořené podklady v Ocadu pro oblast Hradec Králové**

Z rozvrstvených dat DMR 5G byly vytvořeny dva modely, model reliéfu a model povrchu. Na vytvoření modelu reliéfu byla použita vrstva terénu, data s příponou „G“. Pro vytvoření povrchu bylo zapotřebí sloučit vrstvu terénu, vegetace a budov (přípony „G“, „V“, „B“) do jednoho souboru. Tím byla vytvořena vrstva pracovní označená „P“. Aby bylo možné oba modely od sebe odečíst, musela být u obou zvolena stejná velikost buňky. Pro vygenerování rastrů byla pro oba modely terénu i povrchu zvolena velikost buňky 0,25 m (tato velikost buňky je sice k hustotě bodů z laserscanningu malá, ale při vygenerování rastru „Vegetation height“ nebyly u větších buněk jasně znatelné hranice budov). Při odečtení modelu reliéfu od modelu povrchu vznikl výškový model, který zachycuje výšku porostu a budov. V Ocadu 11 byla vytvořena klasifikace porostu podle výšky (Obr. 5.5).

Na ní je přesně vidět, kde se nacházejí objekty o různých výškách. Z modelu terénu byly vygenerovány rastry stínovaného reliéfu a stínovaného povrchu (Obr. 5.3 a Obr. 5.4).

Pro generování vrstevnic je model s buňkou 0,25 m zbytečně podrobný. Navíc generování vrstevnic trvá neúměrně dlouho. Pro generování vrstevnic postačí model terénu s buňkou o velikosti 1 m. Vrstevnice vygenerované z tohoto modelu jsou dostatečně přesné.

Aby mohly být porovnány DMR 5G s DMR 4G, byl v Ocadu vytvořen i model z dat DMR 4G. V programu Ocad byly pro vyhotovení ukázkové mapy vytvořeny tyto podklady:

Vrstevnice z DMR 5G (hkra\_62\_g\_con5.ocd)

Rastr výšky porostů (hkra\_62\_veg.tif)

Rastr stínovaného reliéfu (hkra\_62\_g\_hill.tif)

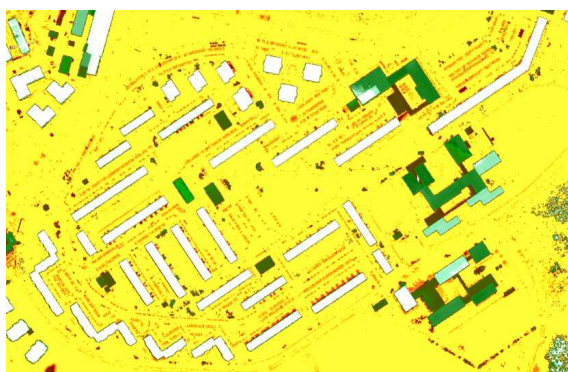
Rastr stínovaného povrchu (hkra\_62\_p\_hill.tif )



**Obr. 5.3 Stínovaný reliéf**



**Obr. 5.4 Stínovaný povrch**



**Obr. 5.5 Výška porostu**

### 5.2.1.2. Vytvořené podklady v Ocadu pro oblast Bezděkov

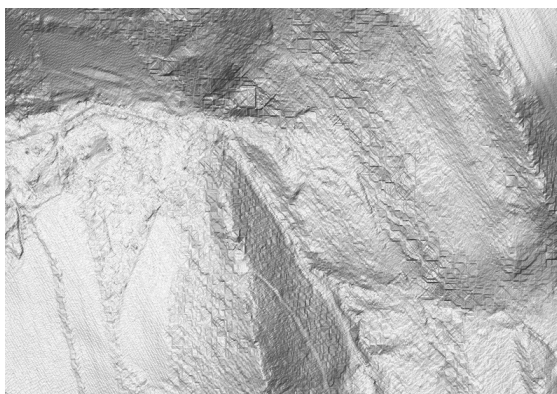
I v této oblasti byly vytvořeny dva modely. Model terénu z vrstvy G a povrchu z vrstev B, G a V. Jelikož se jedná o lesní prostor s kamenitými poli, byly tyto modely vygenerovány s menší přesností. Velikost buňky byla nastavena na 1 m. Menší velikost buňky modelu není zapotřebí, jelikož hustota bodů na zemi v zalesněném prostředí není tak vysoká. I zde byly vygenerovány rastry stínovaného reliéfu (Obr. 5.6), stínovaného povrchu (Obr. 5.7) a výšky porostu (Obr. 5.8) a vrstevnice s intervalem 1 m. Rastr výšky porostů bohužel neodpovídal zcela realitě. Model povrchu neodpovídal skutečnosti. Některé body byly v poskytnutých datech chybně přeřazeny do jiných vrstev, a tak v místech vzrostlého lesa byla výška porostu chybně vyhodnocena na téměř nulovou výšku.

Opět v této oblasti byly vygenerovány vrstevnice z DMR 4G a porovnány s vrstevnicemi vytvořenými z dat DMR 5G. V této oblasti byl větší rozdíl mezi jednotlivými vrstevnicemi. Vrstevnice z DMR 4G téměř nevystihovaly skalnaté srázy a terénní hrany, které se v této oblasti vyskytovaly. Osa hřebenu byla posunuta o cca 15 až 20 metrů. Vrstevnice z DMR 4G působily vyhlazenějším dojmem. Na hřbetnici byly vrstevnice posunuty až o 50 m. Podklady z Ocadu v této oblasti byly následující:

Vrstevnice z DMR 5G (brou\_91\_g\_con5.ocd)

Rastr výšky porostu (brou\_91\_veg.tif)

Rastr stínovaného reliéfu (brou\_91\_g\_hill.tif)

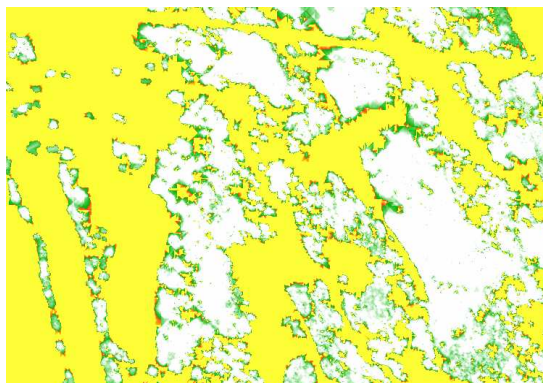


Obr. 5.6 Stínovaný reliéf



Obr. 5.7 Stínovaný povrch





**Obr. 5.8 Výška porostu**

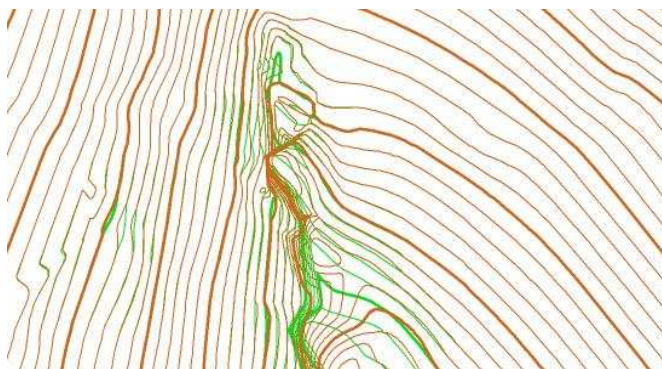
### **5.2.2. Zpracování modelu terénu v programu Atlas**

Firma Atlas spol s r.o byla založena v roce 1990 a za účelem vyvinout vlastní grafický program určený pro oblast inženýrských prací. Jejím produktem je program Atlas DMT dnes již verze 6. Tento program umožňuje zpracovávat výškopisná data z různých zdrojů, jako jsou geodetické zápisníky, textové soubory, fotogrametrie a mnoha dalších.

Pro tuto práci byla použita verze Atlas DMT 6.02.0 MEGA, která zvládne pracovat až se 40 milióny bodů. Od firmy Atlas byl poskytnut hardwarový klíč, s kterým bylo možné použít tuto verzi programu (školní verze umožňuje práci pouze s 60 tis. body a to pro zpracování mapového listu DMR 5G nestačí). Při generaci modelu terénu (záložka „DMT/Úlohy nad DMT/Operace s modelem/Generace modelu terénu“) bylo nutné definovat směr os a formát souřadnic souboru .xyz<sup>2</sup>. Za směr os byl vybrán způsob označený Gauss-Krüger. Po vygenerování modelu je nutné ho nahrát do prostředí programu. K tomu je určena funkce „Vložit model terénu“ v záložce DMT. Takto jsou vloženy „pracovní“ vrstevnice. Do modelů je možné vkládat lomové hrany, pro lepší vystižení terénu. Byly vypočteny vrstevnice (DMT/Vrstevnice/Výpočet vrstevnice). Tyto vrstevnice byly exportovány do souboru formátu dxf, aby bylo možné porovnat je s vrstevnicemi y jiných programů.

V programu Atlas byly zpracovány i naměřené body. Pro porovnání byly vytvořeny dva modely, jeden se singularitami a druhý bez singularit. Navzájem se lišily jen v oblasti skalních srázů (znázorněno na Obr. 5.9). Vrstevnice vygenerované z modelu s lomovými hranami věrně vystihují terén ve zvolené oblasti.

<sup>2</sup> Soubor má sice koncovku .xyz, ale na řádku jsou souřadnice jednoho bodu v S-JTSK -Y -X Z.



**Obr. 5.9 Porovnání vrstevnic ze zaměřených bodů**

(zeleně s hranami, hnědě bez hran)

### **5.2.3. Zpracování modelu terénu v programu ArcMap**

Jako další program pro porovnání zpracovaných dat byl použit ArcGIS od americké společnosti ESRI. V tomto programu byla pro zpracování dat použita aplikace ArcMap 10.0. ArcMap lze použít jak pro mapové úlohy včetně kartografie, tak i pro analýzu a editaci dat. Pro transformace, analýzu, převody mezi formáty a interpretaci výsledků slouží nástavba ArcToolbox, která je už začleněna ve většině programech ArcGIS. V této práci byla použita nástavba 3D Analyst Tools.

Nejprve musela být data z textového souboru ve formátu ASCII 3D převedena do shapefilu, aby bylo možné následné zpracování do modelu terénu. Shapefile je formát dat, se kterým programy ArcGIS pracují. K této transformaci posloužila funkce „ASCII 3D to Feature Class“. Tato funkce se nachází v extenzi „3D Analyst/Conversion/From File“. Byl vybrán soubor pro transformaci a dále bylo nutné nastavit vstupní parametry této funkce. Jako vstupní formát byl zvolen \*.xyz. Aby výšky byly nezkresleny, nastavuje se „Z factor“ na hodnotu 1. Jelikož se jedná o body, výstupní typ byl zvolen jako Point. Stejně jako vstupní data, byl souřadnicový systém zvolen S-JTSK (East-North).

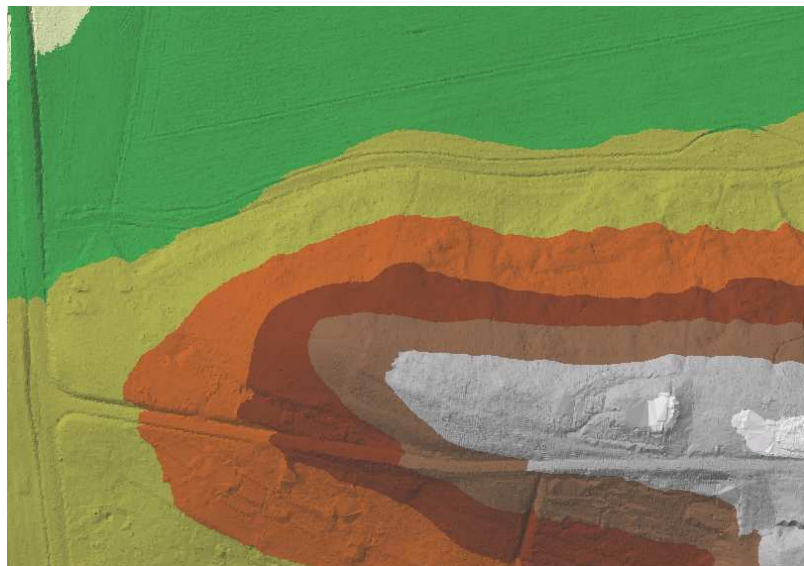
V dalším kroku byl vytvořen model terénu. Tento program vytváří model terénu typu TIN, tedy síť nepravidelných trojúhelníků. K vytvoření tohoto modelu byla použita funkce „Creat TIN“. Lze jí najít v „3D Analyst Tools/TIN Management“. Jako vstupní soubor se vybere vytvořený feature class, opět se nastaví souřadnicový systém a zvolí se výstupní soubor. Jediná možnost nastavení je použití Delaunayovy trigonometrie, která se pro tyto případy všeobecně doporučuje (ukázka vytvořeného modelu na Obr. 5.10.).

Z vytvořeného modelu byly vygenerovány vrstevnice. K tomu účelu slouží nástroj „Surface Contour“ („3D Analyst Tools/Terrain and TIN Surface“). Zde je možné nastavit interval vrstevnic, po kolika metrech má být zvýrazněná vrstevnice a výškový faktor.

Vstupní soubor byl vybraný model terénu a interval vrstevnic byl nastaven na 1 metr, zvýrazněná vrstevnice po 5 metrech. Opět se nastaví „Z factor“ na 1.

V programu ArcMap 10 byly vytvořeny tyto soubory:

Vrstevnice z DMR 5G (hkra\_62\_con5.shp, brou\_91\_con5.shp)



Obr. 5.10 Digitální model terénu v ArcMapu

## 5.3. Porovnání dat

### 5.3.1. Porovnání modelů s naměřenými body

Porovnání bylo provedeno na naměřených bodech. Z vytvořených modelů terénu byly vygenerovány nadmořské výšky pro body o shodných souřadnicích s naměřenými body. Jak naměřené podrobné body tak body DMR 4G a DMR 5G jsou v souřadnicovém systému S-JTSK a hlavně jsou i ve stejném výškovém systému Balt po vyrovnání. Pro jejich porovnání nemusely být nijak dodatečně transformovány.

Výšky bodů modelu terénu byly vygenerovány v programu ArcMap 10.0 pomocí nástroje „Add Surface Information“. Tento nástroj se nachází v nástavbě ArcToolbox v části „3D Analyst Tools/Functional Surface“. U tohoto nástroje není moc možností nastavení. Byl vybrán soubor bodů, pro který chci zjistit výšku na modelu terénu, a ve výstupu bylo zaškrtnuto pole Z. Tím bylo určeno, jaké atributy mají být přidány do tabulky prvků. Dále byl vybrán model terénu, byla ponechána lineární metoda a byl zvolen faktor výšky Z roven 1, aby výšky nebyly zkreslené.



Tabulka atributů byla vyexportována do souboru typu dBASE (koncovka .dbf). Tento soubor byl importován do excelového souboru, ve kterém byly připraveny hodnoty z měření. Tím vznikla tabulka, ve které byly uvedeny naměřené výšky, výšky vygenerované z modelů DMR 4G a DMR 5G, a bylo možné je mezi sebou porovnat. Pro oba modely byly vypočítány odchylky od naměřených hodnot ( $\Delta H_{4G} = H_{\text{měř}} - H_{\text{DMR 4G}}$  pro porovnání s DMR 4G a  $\Delta H_{5G} = H_{\text{měř}} - H_{\text{DMR 5G}}$  pro porovnání s DMR 5G). Jejich úplná střední chyba byla vypočítána podle vzorce:

$$m_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}{n}}.$$

Pro výpočet byly vypouštěny body, které se nacházely na bunkru, který je v prověřované oblasti. Důvodem vypuštění těchto bodů bylo, že budovy jsou v modelech DMR 4G a DMR 5G automaticky odstraněny. Při zaměření nebylo jisté jestli i z půlky zasypaný bunkr bude automaticky odstraněn, a proto byl zaměřen.

Nejprve byla spočítána úplná střední chyba výšky pro celé území ze všech bodů. Hodnota této chyby při porovnání s modelem DMR 5G dosáhla 0,95 m. Tato chyba je poměrně vysoká, jelikož model terénu nedokázal vystihnout hrany skal, na kterých rozdíl výšek dosahoval až 8,3 m. U modelu DMR 4G byla tato chyba 1,48 m. Tento model ještě více zaobluje terén, takže na hranách byly větší rozdíly až 9,1 m.

Pro zjištění přesnosti modelů v oblastech bez skalních srázů, byly body nacházející se na hranách skal vypuštěny z výpočtu. Tím se zmenšila úplná střední chyba na hodnotu 0,40 m pro DMR 5G a 0,80 m pro DMR 4G. V dalším kroku byly body rozděleny podle několika skupin. Skupiny byly vyhodnoceny podle typu lesního porostu a podle podložky. Takto byly vytvořeno 5 skupin, konkrétně čistý les, čistý les s kamenným polem, hustý les, zarostlá paseka, skalní hrany a kamenná pole. Pro jednotlivé skupiny byly stejným způsobem vypočítány střední chyby výšky. Dosažené hodnoty jsou uvedené v tabulce 5.1.

TYP TERÉNU	POČET BODŮ	DMR 4G [m]	DMR 5G [m]
celý prostor	449	1,480	0,957
celý prostor bez skal	392	0,804	0,401
hrany skal	57	3,578	2,471
čistý les	222	0,726	0,395
hustý les	27	0,195	0,151
zarostlá paseka	56	0,275	0,361
kamenné pole	87	1,230	0,485

**Tab. 5.1 Dosažené úplné střední chyby**

### 5.3.2. Vizuální porovnání

Pro zjištění polohové odlehlosti terénu byly vygenerovány vrstevnice z DMR 4G a DMR 5G a ty vizuálně porovnány. I když nejsou výškové rozdíly velké, při pohledu na vygenerované vrstevnice je jasné, že model DMR 4G úplně nevystihuje zvolený terén (Obr. 5.11). Oproti tomu model DMR 5G je poměrně shodný s vrstevnicemi vygenerovanými z naměřených dat (Obr. 5.12). I přes tyto odchylky je použití DMR 4G jako výškového podkladu pro základní terénní tvary možné. Detailní tvary však z něho nezískáme.

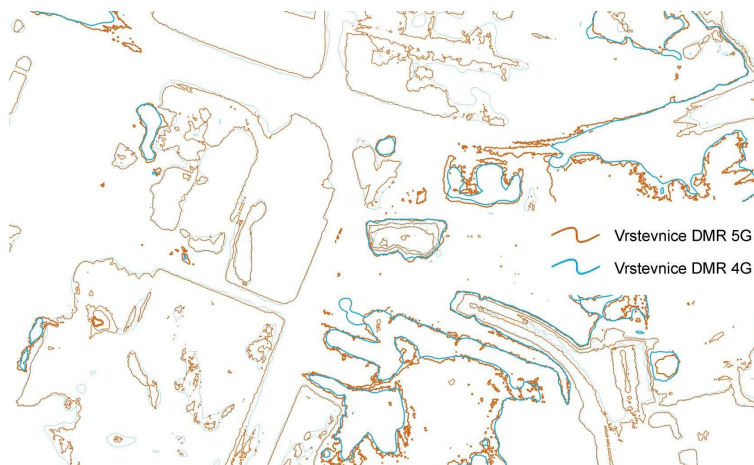


**Obr. 5.11 Porovnání vrstevnic DMR 5G a z naměřených dat (DMR 5G zeleně)**



**Obr. 5.12 Porovnání vrstevnic DMR 4G a z naměřených dat (DMR 4G zeleně)**

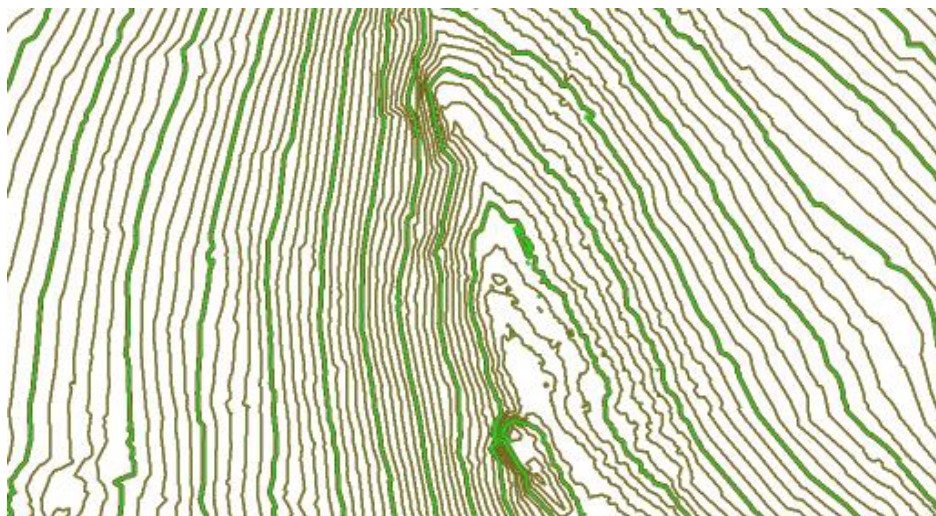
V druhé zájmové oblasti, v Hradci Králové, byly vrstevnice z DMR 4G a DMR 5G porovnány mezi sebou (Obr. 5.13). Tato oblast není příliš členitá a převýšení jsou zde malá. Vygenerované vrstevnice mají určité rozdíly. Vrstevnice DMR 4G vykreslují terén jednodušeji než vrstevnice DMR 5G. Pro vystižení terénu to podle mého názoru nemá až takový vliv.



**Obr. 5.13 Porovnání vrstevnic DMR 5G a DMR 4G**

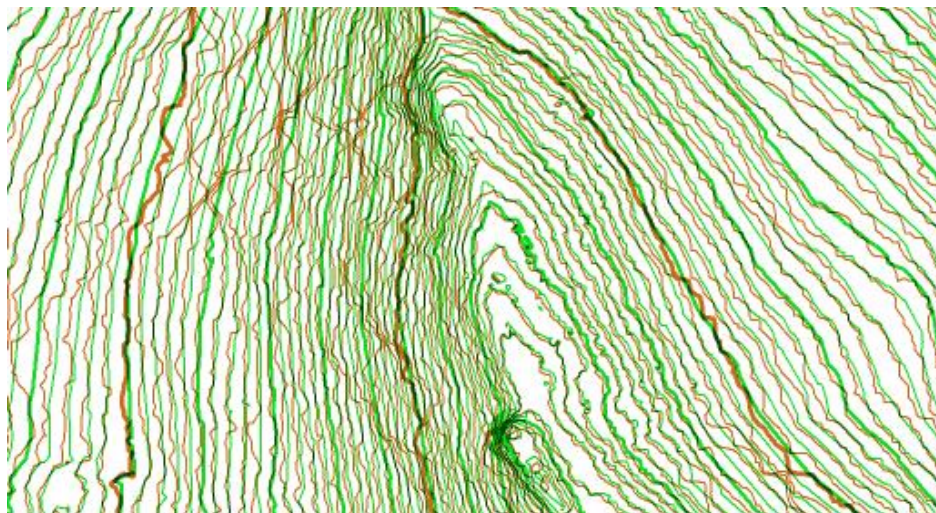
### **5.3.3. Porovnání modelů terénu z různých programů**

Porovnání proběhlo v programu Ocad. Do tohoto programu byly nahrány vrstevnice vytvořené z různých programů ze stejných vstupních dat.. Jelikož každý program pracuje s jinými soubory, byly převedeny do kompatibilních formátů. Porovnání proběhlo vizuálně. Na první pohled bylo zřejmé, že vrstevnice z programu Atlas a ArcMap jsou totožné (viz Obr. 5.14). Oba programy pracují s modely TIN. Oproti tomu vrstevnice z programu Ocad, který vytváří rastrové modely, se od ostatních programů částečně lišily. V oblasti, která není pokryta tak hustou sítí bodů, program Ocad nedokázal vygenerovat smysluplné vrstevnice jak je vidět na Obr. 5.15 (mapový list DMR 5G Broumov 9-1 ještě není zcela hotový, zbývá vyinterpolovat body v místech o velikosti 25 m<sup>2</sup>, ve kterých není jediný bod). Při vygenerování vrstevnic z DMR 4G jsou vrstevnice z programů Ocad a ArcMap velmi podobné a liší se jen nepatrně (Obr. 5.16).

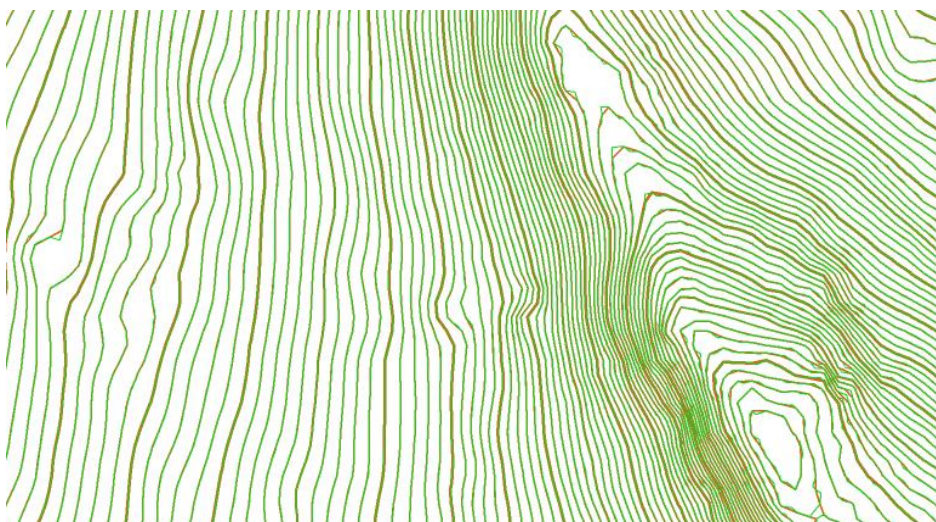


**Obr. 5.14 Vrstevnice z programů Atlas a ArcMap (ArcMap – hnědě, Atlas – zeleně)**





**Obr. 5.15** Vrstevnice z programů ArcMap a Ocad (Ocad – hnědě, ArcMap – zeleně)



**Obr. 5.16** Vrstevnice DMR 4G z programů ArcMap a Ocad (Ocad – hnědě, ArcMap - zeleně)

#### **5.4. Vyhodnocení ortofota**

Data byla poskytnuta firmou Geodis. Snímky byly pořízeny kamerou UltraCam X s ohniskovou vzdáleností 100 mm. Ortofoto bylo vytvořeno ze snímků s podélným překrytem 60% a příčným překrytem 31%. Měřítko snímkování bylo 1:17 361, to odpovídá letové výšce 1 736 m. Snímky byly ve velkém rozlišení 12,5 cm na pixel. Snímkování oblasti Bezděkov proběhlo 30.5.2011 a snímkování oblasti Hradce Králové 31.5.2011.

Velikost ortofota byla 5000 × 4000 pixel, to odpovídá území 625 × 500 m. Poskytnutý formát byl TIFF (Tag Image File Format, zkratka souboru .tif) s georeferenčním souborem TFW v systému S-JTSK. Při vytvoření ortofotomapy nelze zajistit rovinný průmět celé oblasti. Čím dále od středu snímku, tím více jsou objekty na

snímku vyfoceny zešikma. Tím dochází ke zkreslení a u vyšších objektů nelze přesně určit jejich polohu v průsečíku se zemí. Tímto způsobem dochází ke zkreslení v zalesněných oblastech nebo v zástavbě vysokých domů, například cesty v lese na ortofotu se zdají být jinde než ve skutečnosti jsou.

Zvolená oblast v Hradci Králové je městská zástavba s vysokými budovami (panelové domy o více jak 6 podlažích) s malým výskytem vegetace. V této oblasti se dají veškeré cesty a objekty na úrovni země překreslit rovnou z ortofota. Nevýhodou je, že vysoké budovy jsou vyfoceny zešikma. Střechy těchto domů jsou až o 9 m posunuté. To v mapě pro sprint měřítko 1:4 000 vytváří chybu přes 2 mm, což už není zanedbatelné. Při porovnání s modelem terénu vyhotoveným z DMR 5G je tento rozdíl jasně vidět. Větším problémem je stín, který vrhají vysoké objekty. Ten místy sahá až 20 m od objektu (v mapované oblasti v Hradci Králové). V jeho pokrytí nejsou jasně rozpoznatelné objekty. V těchto oblastech kolem panelových domů a stromů nelze obkreslit objekty na zemi.

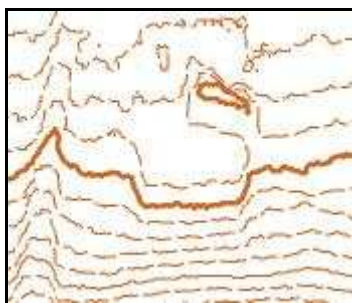
V podhorské oblasti u Trutnova si lze z ortofota udělat představu o vegetaci. Na snímcích jsou jasně viditelná rozhraní mezi vysokým lesem, pasekou, loukou a hustšími pasážemi lesa. Není však vidět na objekty, které se nacházejí na zemi. V dané oblasti je velký výskyt kamenů a skalek, které podle snímku ortofota nelze vykreslit.

## 6. ZHOTOVENÍ MAPY PRO ORIENTAČNÍ BĚH

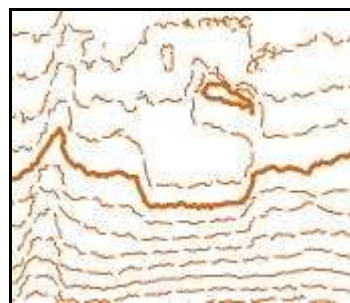
### 6.1. Vytvoření podkladů pro práci v terénu

Pro nakreslení map byl použit program Ocad 10. Pro nahrání podkladů pro kreslení v Ocadu slouží záložka „Background Map“. Ocad umožňuje použít několik formátů rastrových podkladů ( BMP, GIF, JPEG a TIFF). Pokud nenastavíme souřadnicový systém a jsou podklady georeferencované, při nahrání podkladů se automaticky posune kreslící okno na požadované souřadnice. Podobným způsobem je možné připojit soubor ve formátu Ocad.

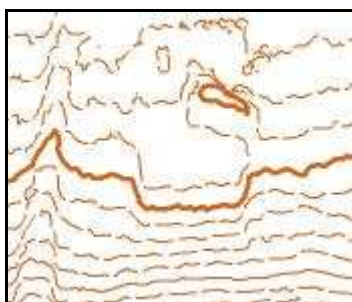
Vygenerované vrstevnice z programu Ocad jsou tvořeny lomenou čarou a to je pro práci s nimi nepraktické. Ocad umožňuje převést tyto linie na Bézierovy křivky pomocí nástroje „To Curve“. Je možné nastavit stupeň vyhlazení pomocí „Smoothing level“ v rozsahu 0, 1 nebo 2 (ukázky na obrázcích 6.1 až 6.4) . Pokud se použije příliš velký stupeň vyhlazení, může dojít k překřížení vrstevnic. Proto je lepší při vytváření podkladů pro mapy na OB nastavit „Smoothing level“ na 0.



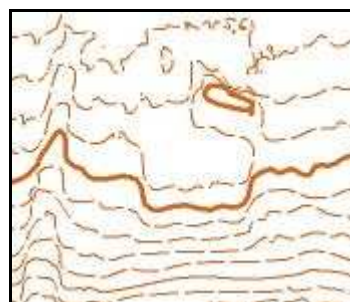
Obr. 6.1 Polyline



Obr. 6.3 Smooth level 0



Obr. 6.2c Smooth level 1



Obr. 6.4 Smooth level 2



### 6.1.1. Oblast Hradec Králové

Hlavním podkladem pro polohové kreslení nové mapy byly snímky ortofota. Před samotným mapováním v terénu bylo z ortofotosnímků nakreslena předběžná mapa. Z ortofota byly překresleny jasné objekty, jako jsou okraje budov a komunikací, keře a stromy.

Do mapy byly přidány vygenerované vrstevnice z DMR 5G. Vrstevnice byly nahrány jako podklad a bylo možné je kdykoliv vypnout. Pro představu o porostech je jako podklad použit rastr hkra\_62\_veg.tif „Vegetation Height“ a hkra\_p\_hill.tif „Hill Shading“. Ukázky použití různých podkladů při kreslení mapy je vidět na obrázcích 6.5 až 6.8.



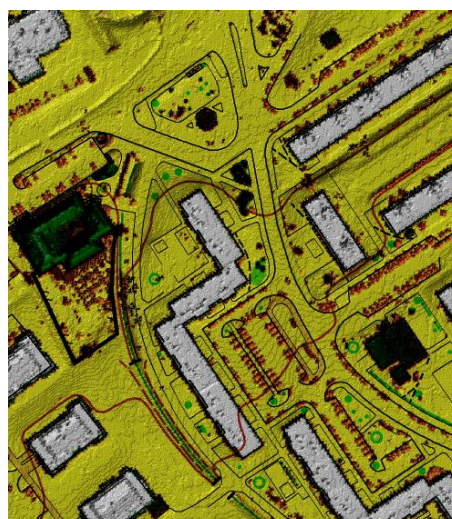
Obr. 6.5 Podklad ortofoto



Obr. 6.7 Podklad vrstevnice DMR 5G



Obr. 6.6 Podklad stínovaný povrch

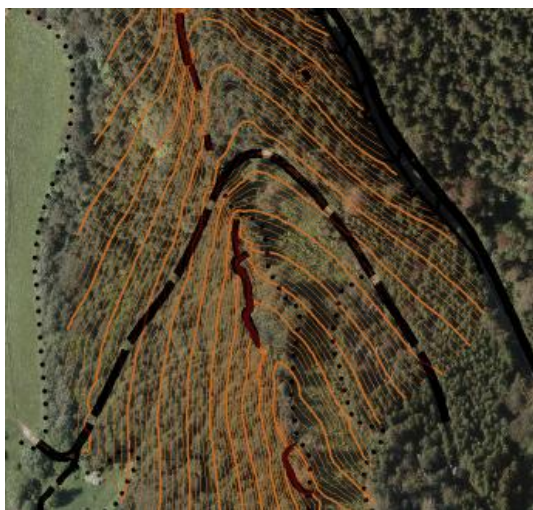


Obr. 6.8 Podklad „Vegetation height“

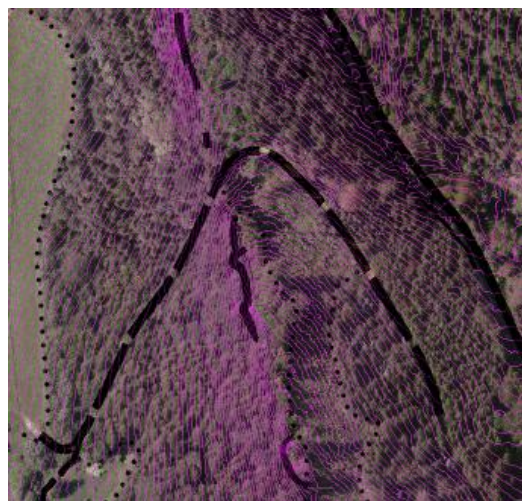
Předběžná mapa byla vytvořena v měřítku 1:5 000 s intervalem vrstevnic 1 m. Pro práci v terénu byla mapa vytištěna v měřítku 1:2 500 i s podkladovým ortofotem.

### 6.1.2. Oblast Bezděkov

V oblasti Bezděkov byly kombinovány podklady ortofota a vrstevnic a rastrů z DMR 5G (Obr. 6.9 a Obr. 6.10). Z ortofota bylo možné obkreslit rozhraní lesů a pasek a některé větší křižovatky cest. Proto velká část polohopisu byla určena z DMR 5G. Jasně určené body, tímto způsobem, byly například srázy. Bylo možné vyčíst i průběh cesty. Vrstevnice vycházely z DMR 5G. Předběžná mapa byla nakreslena v měřítku 1:10 000. Pro práci v terénu byla vytištěna do měřítka 1:5 000.



Obr. 6.9 Naměřené vrstevnice a ortofoto



Obr. 6.10 Vrstevnice DMR 5G a ortofoto

## 6.2. Mapování v terénu

Na základě předem připravených podkladů bylo provedeno mapování. Podklady v Hradci Králové byly velmi přesné. Polohově nebylo nutné dělat výrazné korekce. Všude bylo dost jasných objektů, od kterých se dalo doměřit. V oblastech ve stínu nebo za panelovým domem, ve kterých vidět na ortofotu, byly pomocí buzoly a krokování<sup>3</sup> dokresleny zbylé objekty. Použitá buzola při mapování byla Silva 5 JET. Převážná část mapování spočívala v klasifikaci porostů. Hlavním podkladem pro mapování v této oblasti bylo ortofoto.

Pro mapování v oblasti Bezděkov bylo zapotřebí zjistit magnetický sever. V této oblasti není tolik jasně definovaných objektů a tak se celé mapování provedlo pomocí

<sup>3</sup> Přesnost map pro OB je v řádu metrů. Metoda měření délek krokováním je proto dostatečná.



měření azimutu na buzole a krokování, případně protínání azimutů. Jako objekty o známé poloze byly použity skalní srázy nakreslené podle DMR 5G, které byly ověřeny kontrolním měřením. Podklad DMR 5G se ukázal jako velmi přínosný, když i pod stromy bylo možné identifikovat větší kameny, které byly vykresleny i na podkladových vrstevnicích. Takovéto objekty bylo možné dále použít jako polohově přesné a měřit na ně.

Při mapování byly nově mapované objekty kresleny na folii, která byla posléze naskenovaná i s podkladovou mapou, aby ji bylo možné nahrát do Ocadu a adjustovat do správných souřadnic. Pomůcky při mapování jsou na obrázku č. 6.11.



Obr. 6.11 Pomůcky při mapování

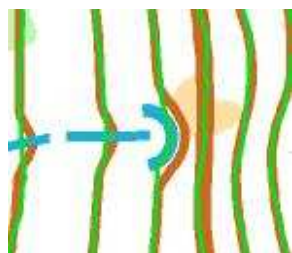
### 6.3. Kreslení mapy pro OB

Po nahrání podkladů do Ocadu bylo nejprve nutné opravit předběžnou kresbu, která neodpovídala skutečnosti. Hlavně to byly chybně vykreslené výrazné nebo jednotlivé stromy v oblasti Hradce Králové nebo nepřesná hranice paseky v Bezděkově. V Bezděkově byly překresleny skalní srázy do jejich skutečných tvarů (konce, od kterých se vycházelo při měření, se neměnily, ale tvary ano).

Nejvíce byly upravovány vrstevnice. Vygenerované vrstevnice mají velmi přesnou polohu, avšak pro zachycení některých míst bylo nutné je upravit. Některá místa byla kreslená „přes míru“ (Obr. 6.12), to znamená, že skutečný tvar terénu je zvětšen a vrstevnice je posunuta. Jinde byly vrstevnice posunuty, aby lépe vystihovaly tvar (Obr. 6.13). Taková místa byla kreslená podle pocitu tak, aby běžící závodník pochopil, co ho v terénu čeká. Vygenerované vrstevnice s intervalem 1 m vybízejí použít doplňkové

vrstevnice, to však může vést k nepřehlednosti a špatné čitelnosti mapy. Proto byly doplňkové vrstevnice použity jen tehdy, pokud to bylo nutné pro vystižení terénu.

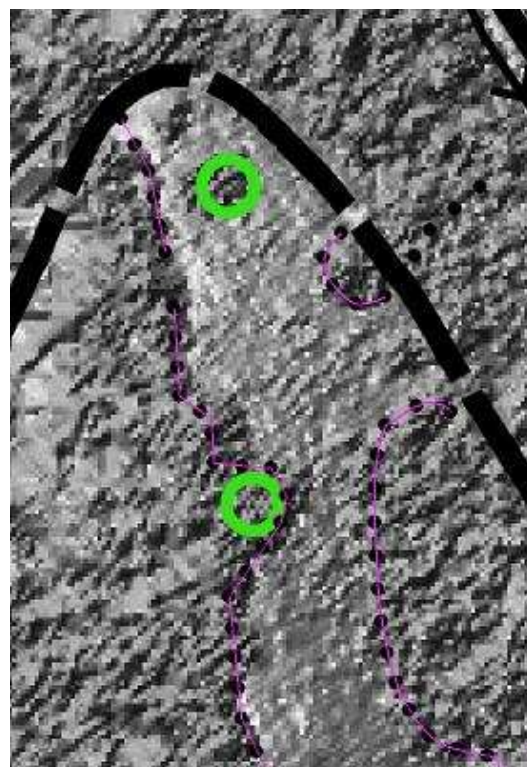
Při kreslení bylo přihlíženo i k dalším podkladům, které nebyly při mapování použity. Jednalo se třeba o rastr stínovaného povrchu nebo o rastr výšky porostu. Na základě těchto podkladů bylo možné v oblasti Bezděkov ověřit zmapovanou hranici mezi lesem a pasekou (Obr. 6.14).



Obr. 6.12 Kresba přes míru



Obr. 6.13 Posun vrstevnic

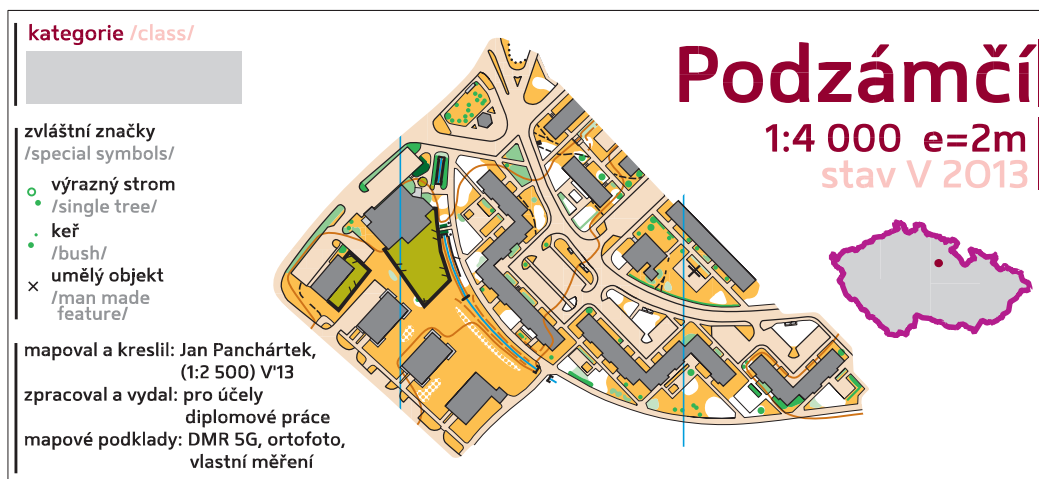


Obr. 6.14 Hranice paseky

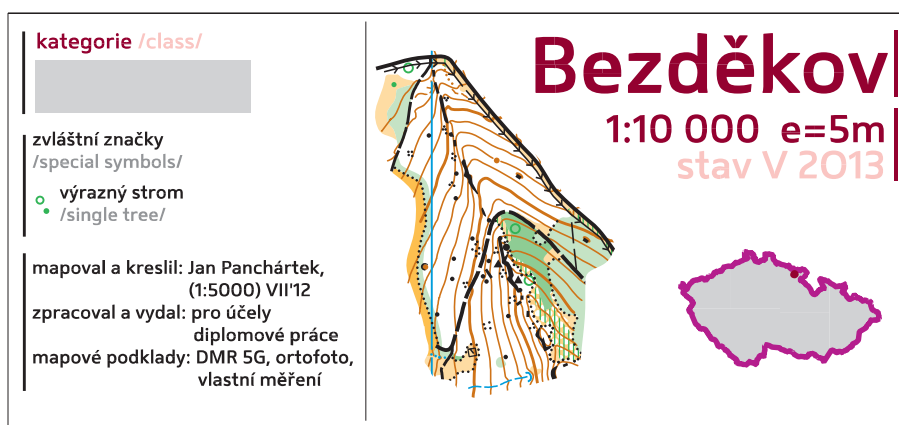
Jelikož při orientačním běhu se používá pro zorientování mapy do severu buzola, je nutné mapu na závěr pootočit tak, aby sever na mapě směřoval na magnetický pól. Po té byly do mapy přidány severníky, nebo-li magnetické poledníky.

## 7. VÝSLEDNÉ MAPY

Zde jsou ukázky map vytvořených ve vybraných oblastech. Mapy jsou ve skutečné velikosti. Mapa Podzámčí je vytištěna v měřítku 1:4000 (Obr. 7.1) a mapa Bezděkov v měřítku 1:10000 (Obr. 7.2).



Obr. 7.1 Mapa Podzámčí



Obr. 7.2 Mapa Bezděkov

## 8. ZÁVĚR

V této práci byla ověřena kontrolním měřením přesnost DMR 4G a DMR 5G. Z rozdílů mezi zaměřenými body a vygenerovanými body z DMR 4G a DMR 5G byly vypočítány střední chyby pro jednotlivé modely. Takto zjištěná střední chyba DMR 5G ve vybrané lokalitě byla větší než je garantovaná střední chyba. To mohlo být způsobeno tím, že mapový list DMR 5G Broumov 9-1 ještě není finální verzí a mohou být do tohoto listu doplněny další body. Garantované odchylky u modelu DMR 4G byly splněny. Vrstevnice vygenerované ze stejných dat v různých programech se téměř nelišily.

Tato práce se zabývá využitím různých podkladů pro tvorbu map pro orientační běh. V praxi byly ověřeny podklady z ortofota a z dat leteckého laserového skenování. V rámci práce byly vytvořeny mapy ve dvou různých typech terénu, Bezděkov 1:10 000 a Podzámčí 1:5 000.

Pro typ terénu jako je zpracovaná oblast v Hradci Králové (mapa Podzámčí), tedy městská zástavba s rozptýlenými stromy, je vhodnější využít ortofoto. Z tohoto podkladu lze překreslit polohově přesnou mapu, která se při mapování v terénu téměř nemění.

Oproti tomu pro zalesněný terén, podobný oblasti u Bezděkova, je lepší použít digitální model reliéfu (DMR 5G) v kombinaci s digitálním modelem povrchu (DMP 1G). Podle těchto podkladů lze nakreslit objekty polohově a výškově přesně. Takto zjištěné objekty lze využít jako výchozí body při mapování v terénu.

Vyhotovené mapy budou poskytnuty oddílu orientačního běhu OK 99 Hradec Králové pro tréninkové účely.

## POUŽITÉ ZKRATKY

S-JTSK	Souřadnicový systém jednotné sítě triangulační a katastrální
S-42	Souřadnicový systém 1942
DMR	Digitální model reliéfu
DMP (DSM)	Digitální model povrchu (digital surface model)
DMT (DTM)	Digitální model terénu (digital terrain model)
DEM	Digitální model převýšení (digital elevation model)
OB	Orientační běh
TIN	Nepravidelná trojúhelníková síť (triangulated irregular network)
ZM	Základní mapa
UTM	Univerzální transversální Mercatorův souřadnicový systém
WGS-84	World geodetic system 1984
IMU	Inerciální měřicí jednotka
GPS	Globální poziční systém
RTK	Real time kinematic
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
Bpv	Balt po vyrovnání
ZhB	Zhušťovací bod
ČR	Česká republika
LIDAR	Light detection and ranging
ISOM 2000	International specification for orienteering maps 2000
ISSOM 2007	International specification for sprint orienteering maps 2007
IOF	International orienteering federation
MTBO	Mountain bike orienteering – orientační běh na horských kolech
LOB	lyžařský orientační běh
ZABAGED	Základní báze geografických dat

## ZDROJE

- [1] BRÁZDIL, Karel. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace DMR 4G. In: [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA\\_ZPRAVA\\_DMR\\_4G\\_15012012.pdf](http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G_15012012.pdf)
- [2] BRÁZDIL, Karel. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace DMR 5G. In: [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA\\_ZPRAVA\\_DMR\\_5G.pdf](http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf)
- [3] LMS-Q680i. In: [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/10\\_DataSheet\\_LMS-Q680i\\_28-09-2012.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/10_DataSheet_LMS-Q680i_28-09-2012.pdf)
- [4] Závazný předpis Mapy pro orientační běh. In: *Oficiální stránka Českého svazu orientačního běhu: Mapová rada ČSOS*[online]. 2000 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.orientacnibeh.cz/volny/maprada/klice/isom2000cz.pdf>
- [5] Závazný předpis Mapy pro orientační sprint. In: *Oficiální stránka Českého svazu orientačního běhu: Mapová rada ČSOS*[online]. 2009 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.orientacnibeh.cz/volny/maprada/klice/issom2007cz.pdf>
- [6] KAROCHOVÁ, Simona. *Využití dat leteckého laserového skenování při tvorbě map pro orientační běh*. 2012. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Zimová Růžena.
- [7] POKLOP, Martin. *Volba lokalit pro výrobu elektrické energie z obnovitelných vodních zdrojů pomocí geoinformatických a kartografických metod*. Brno, 2013. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Milan Konečný.
- [8] DOLANSKÝ, Tomáš. *Lidary a letecké laserové skenování*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2004. 100 s. Acta Universitatis Purkynianae. ISBN 80-704-4575-0. Disertační práce. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem.
- [9] LENHART, Zdeněk. *Tvorba map pro OB* [online]. 2000 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://tvorbamap.shocart.cz/>
- [10] URBAN, Jiří. *Digitální model terénu*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1991, 60 s. ISBN 80-010-0553-4.
- [11] HANZL, Vlastimil. *Fotogrammetrie I*. 1. vyd. Brno: CERM, 2002, 94 s. ISBN 80-214-2049-9.
- [12] NEVOSÁD, Zdeněk. *Geodezie III*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2004, 176 s.

- [13] INTERNATIONAL ORIENTEERING FEDERATION. *History: International Orienteering Federation* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://orienteering.org/about-the-iof/history/>
- [14] CENTRUM HISTORIE ORIENTAČNÍHO BĚHU. *Vývoj map v českých zemích* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.orienteering-history.info/cfirst.php>
- [15] HOUŠKA, Radek. Globální digitální modely terénu ČR. In: [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06\\_Geodezie%20a%20kartografie/6\\_01\\_Prakticke%20aspekty%20geodezie%20a%20kartografie/Houska\\_Radek.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06_Geodezie%20a%20kartografie/6_01_Prakticke%20aspekty%20geodezie%20a%20kartografie/Houska_Radek.pdf)
- [16] ŠÍMA, Jiří. Nové zdroje geoprostorových dat pokrývajících celé území státu od roku 2010: První výsledky výzkumu jejich kvalitativních parametrů. In: [online]. 2011 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://gis.vsb.cz/GIS\\_Ostrava/GIS\\_Ova\\_2011/sbornik/papers/Sima.pdf](http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2011/sbornik/papers/Sima.pdf)
- [17] KRTIČKA, Luděk. *Využití dat leteckého laserového skenování pro tvorbu map pro orientační běh*. 2012.
- [18] OCAD AG. *OCAD 11 Wiki* [online]. 2012 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://ocad.com/en.wiki/index.php?title=Main\\_Page](http://ocad.com/en.wiki/index.php?title=Main_Page)
- [19] Atlas LTD - O firmě. ATLAS SPOL S R.O. [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.atlasltd.cz/show.php?key=about>
- [20] ČUZK. *Geoportál: Geoprohlížeč ČUZK* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [21] CAHEL, Marek. *Havříce: ISOM 2000*. 1:4000. 1. vyd. Luhačovice, 2012
- [22] CAHEL, Marek. *Havříce: ISSOM 2007*. 1:4000. 1. vyd. Luhačovice, 2013
- [23] BRÁZDIL, Karel. *Nový výškopis České republiky* [prezentace]. 2012, 29 s.
- [24] KOLEJKA, Jaromír. Využití laserových modelů terénu v geomorfologickém průzkumu. [online]. 2011, s. 17 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://www.asg.sav.sk/gfsb/v0111/gfsb0110101.pdf>

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

OBR. 2.1 UKÁZKA HISTORICKÝCH MAP [14].....	11
OBR. 2.2 ISOM 2000 [9].....	14
OBR. 2.3 ISSOM 2007.....	15
OBR. 2.4 ISOM 2000 A ISSOM 2007 [21][22].....	15
OBR. 3.1 ROZDÍL MEZI DIGITÁLNÍM MODELEM TERÉNU A POVRCHU [18].....	16
OBR. 3.2 MODEL TYPU GRID [23].....	17
OBR. 3.3 MODEL TYPU TIN [23].....	17
OBR. 3.4 PŮVODNÍ PLÁN SKENOVÁNÍ ČR [16].....	20
OBR. 3.5 RIEGEL LMS Q680 [3].....	21
OBR. 3.6 DOSAH RIEGEL LMS-Q680 [3].....	22
OBR. 3.7 GRAF HUSTOTY BODŮ V ZÁVISLOSTI NA RYCHLOSTI A VÝŠCE LETU [3].....	22
OBR. 3.8 TYPY ODRAZU [3].....	23
OBR. 3.9 SCHÉMA ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT [24].....	24
OBR. 3.10 ROZSAH DMR 4G [20].....	27
OBR. 3.11 ROZSAH DMR 5G [20].....	30
OBR. 3.12 MODEL POVRCHU [23].....	30
OBR. 4.1 OBLAST BEZDĚKOV.....	31
OBR. 4.2 OBLAST V HRADCI KRÁLOVÉ.....	32
OBR. 4.3 SCHÉMA SÍTĚ.....	34
OBR. 5.1 POROVNÁNÍ VRSTEVNIC ZABAGED A DMR 4G [17].....	37
OBR. 5.2 POROVNÁNÍ VRSTEVNIC DMR 4G A VRSTEVNIC NA STARÉ MAPĚ [17].....	37
OBR. 5.3 STÍNOVANÝ RELIÉF.....	39
OBR. 5.4 STÍNOVANÝ POVRCH.....	39
OBR. 5.5 VÝŠKA POROSTU.....	39
OBR. 5.6 STÍNOVANÝ RELIÉF.....	40
OBR. 5.7 STÍNOVANÝ POVRCH.....	40
OBR. 5.8 VÝŠKA POROSTU.....	41
OBR. 5.9 POROVNÁNÍ VRSTEVNIC ZE ZAMĚŘENÝCH BODŮ.....	42
OBR. 5.10 DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU V ARCMAPU.....	43
OBR. 5.11 POROVNÁNÍ VRSTEVNIC DMR 5G A Z NAMĚŘENÝCH DAT.....	45
OBR. 5.12 POROVNÁNÍ VRSTEVNIC DMR 4G A Z NAMĚŘENÝCH DAT.....	45
OBR. 5.13 POROVNÁNÍ VRSTEVNIC DMR 5G A DMR 4G.....	46
OBR. 5.14 VRSTEVNICE Z PROGRAMŮ ATLAS A ARCMAP.....	46
OBR. 5.15 VRSTEVNICE Z PROGRAMŮ ARCMAP A OCAD.....	47
OBR. 5.16 VRSTEVNICE DMR 4G Z PROGRAMŮ ARCMAP A OCAD.....	47
OBR. 6.1 POLYLINE.....	49
OBR. 6.2C SMOOTH LEVEL 1.....	49
OBR. 6.3 SMOOTH LEVEL 0.....	49
OBR. 6.4 SMOOTH LEVEL 2.....	49
OBR. 6.5 PODKLAD ORTOFOTO.....	50
OBR. 6.6 PODKLAD STÍNOVANÝ POVRCH.....	50
OBR. 6.7 PODKLAD VRSTEVNICE DMR 5G.....	50
OBR. 6.8 PODKLAD „VEGETATION HEIGHT“.....	50
OBR. 6.9 NAMĚŘENÉ VRSTEVNICE A ORTOFOTO.....	51
OBR. 6.10 VRSTEVNICE DMR 5G A ORTOFOTO.....	51
OBR. 6.11 POMŮCKY PŘI MAPOVÁNÍ.....	52
OBR. 6.12 KRESBA PŘES MÍRU.....	53
OBR. 6.13 POSUN VRSTEVNIC.....	53
OBR. 6.14 HRANICE PASEKY.....	53
OBR. 7.1 MAPA PODZÁMČÍ.....	54
OBR. 7.2 MAPA BEZDĚKOV.....	54



## SEZNAM TABULEK

TAB. 2.1 DOSAH MĚŘENÍ PŘI RŮZNÝCH FREKVENCÍCH SNÍMÁNÍ [3].....	22
TAB. 2.2 DMR 4G ODCHYLKY [1].....	27
TAB. 2.3 DMR 5G ODCHYLKY [2].....	29
TAB. 4.1 VYROVNANÉ SOUŘADNICE STANOVISEK A JEJICH STŘEDNÍ CHYBY .....	34
TAB. 4.1 DOSAŽENÉ ÚPLNÉ STŘEDNÍ CHYBY .....	44

## **ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY**

Příloha č. 1: Text

Příloha č. 2: Výpočet naměřených bodů

Příloha č. 3: Zpracování naměřených dat

Příloha č. 4: Podklady z programu Ocad

Příloha č. 5: Podklady z programu Atlas DMT

Příloha č. 6: Podklady z programu ArcMap

Příloha č. 7: Porovnání DMR 4G a DMR 5G

Příloha č. 8: Porovnání mezi programy

Příloha č. 9: Vyhotovené mapy